This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

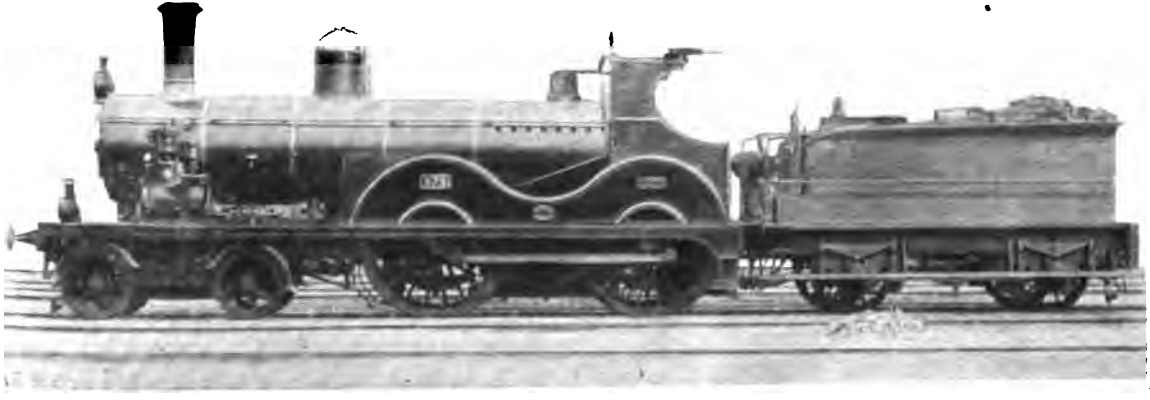
PROPERTY OF THE
University of Michigan Libraries
1817
ARTES SCIENTIA VERITAS

LOCOMOTIVE

ET

MATÉRIEL ROULANT

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES



Locomotive express à bogie de la Compagnie de l'Ouest.

BIBLIOTHÈQUE DU CONDUCTEUR DE TRAVAUX PUBLICS

CHEMINS DE FER

LOCOMOTIVE

ET

MATÉRIEL ROULANT

PAR

MAURICE DEMOULIN
INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES

PARIS
Vve CH. DUNOD ET P. VICQ, ÉDITEURS
LIBRAIRES DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES CHEMINS DE FER
49, Quai des Grands-Augustins, 49
1896

TRANSIT
TJ
605
D37

Hardy
1-23-43
Transp. lib.

BIBLIOTHÈQUE DU CONDUCTEUR DE TRAVAUX PUBLICS

PUBLIÉE SOUS LES AUSPICES

DE MESSIEURS LES MINISTRES DES TRAVAUX PUBLICS DE L'AGRICULTURE DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE DU COMMERCE ET DE L'INDUSTRIE DES COLONIES

Comité de patronage

BEAUREGARD (docteur)	Secrétaire général de l'Association philotechnique.
BECHMANN	Ingénieur en chef de l'assainissement (Service municipal de la ville de Paris), professeur à l'École des Ponts et Chaussées.
BOREUX	Ingénieur en chef de la voie publique (Service municipal de la ville de Paris).
BOUQUET	Directeur du personnel et de l'enseignement technique au Ministère du Commerce.
BOUVARD	Inspecteur général des services techniques municipaux d'architecture de la ville de Paris.
BROUARDEL (le Prof^r)	Doyen de la Faculté de médecine, Membre de l'Institut, Président de l'Association polytechnique.
COLSON	Maître des requêtes au Conseil d'État, Professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées.
COMTE (J.)	Ancien directeur des Bâtiments civils et des Palais nationaux.
DEBAUVE	Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Agent voyer en chef de l'Oise, auteur du *Manuel de l'Ingénieur des Ponts et Chaussées*.
DELECROIX	Avocat, Docteur en droit, Directeur de la *Revue de la Législation des Mines*.
DONIOL	Inspecteur général des Ponts et Chaussées.
BOUSQUET (du)	Ingénieur en chef du matériel et de la traction à la Cie des Chemins de fer du Nord.
FLAMANT	Inspecteur général des Ponts et Chaussées de l'Algérie.
GAY	Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur de l'École Nationale des Ponts et Chaussées.
GRILLOT	Président honoraire de la Société des Conducteurs, Contrôleurs et Commis des Ponts et Chaussées et des Mines.
GUILLAIN	Conseiller d'État, Directeur des Routes, de la Navigation et des Mines au Ministère des Travaux publics.
HATON DE LA GOUPILLIÈRE	Membre de l'Institut, Inspecteur général des Mines, Directeur de l'École nationale supérieure des Mines.

HENRY (E.)	Inspecteur général des Ponts et Chaussées.
HUET	Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur administratif des Travaux de la ville de Paris.
HUMBLOT	Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur du Service des Eaux de la ville de Paris.
JOUBERT	Ancien Président de la Société des Anciens Élèves des Écoles nationales d'Arts et Métiers.
LAUSSEDAT (le Colonel)	Membre de l'Institut, Directeur du Conservatoire national des Arts et Métiers.
Me LE BERQUIER	Avocat à la Cour d'appel de Paris.
MARTIN (J.)	Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, ancien professeur à l'École nationale des Ponts et Chaussées.
MARTINIE	Contrôleur général de l'Administration de l'Armée, Ancien président de la Société de Topographie de France.
METZGER	Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur des Chemins de fer de l'État.
MICHEL (J.)	Ingénieur en chef au Chemin de fer de Paris a Lyon et à la Méditerranée.
NICOLAS	Conseiller d'État, Directeur du Travail et de l'Industrie au Ministère du Commerce, de l'Industrie et des Postes et Télégraphes.
PHILIPPE	Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur de l'Hydraulique agricole au Ministère de l'Agriculture.
PILLET	Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers.
Le **Président** de la Société des Ingénieurs civils de France.	
RÉSAL	Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École nationale des Ponts et Chaussées.
ROUCHÉ	Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers.
SANGUET	Président de la Société de Topographie parcellaire de France.
TAVERNIER (de)	Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Directeur du secteur électrique de la rive gauche.
TISSERAND	Conseiller d'État.
TRICOCHE (le Général)	Président de la Société de Topographie de France.

BIBLIOTHÈQUE DU CONDUCTEUR DE TRAVAUX PUBLICS

Comité de rédaction

SIÈGE : 46, QUAI DE L'HÔTEL-DE-VILLE

Bureau

PRÉSIDENT :

JOLIBOIS — Conducteur des Ponts et Chaussées, Navigation de la Seine (Entretien des ponts de Paris), Président de la Société des Conducteurs, Contrôleurs et Commis des Ponts et Chaussées et des Mines, Membre des Sociétés des Ingénieurs civils de France, des anciens élèves des Écoles d'Arts et Métiers, de Topographie de France, etc., Professeur à l'Association philotechnique.

VICE-PRÉSIDENTS :

LAYE — Ingénieur des Arts et Manufactures (Cie du Chemin de fer du Nord).

VERDEAUX — Inspecteur de la voie (Cie du Chemin de fer d'Orléans), Membre de la Société des Ingénieurs civils de France.

VIDAL — Conducteur des Ponts et Chaussées (Contrôle des Chemins de fer du Midi).

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL :

CANAL — Conducteur des Ponts et Chaussées, Contrôleur Comptable des Chemins de fer (Orléans).

SECRÉTAIRES :

DEJUST — Conducteur municipal (Service des Eaux), Ingénieur des Arts et Manufactures.

DIÉBOLD — Conducteur des Ponts et Chaussées, Service municipal (Assainissement).

HABY — Rédacteur au Ministère des Travaux Publics, Professeur à l'Association philotechnique.

MEMBRES DU COMITÉ :

ALLEGRET — Conducteur des Ponts et Chaussées, Contrôleur Comptable des Chemins de fer (Ouest).

BONNET — Conducteur des Ponts et Chaussées, Service municipal (Éclairage).

BOSRAMIER	Conducteur principal des Ponts et Chaussées (Contrôle du Chemin de fer d'Orléans).
DACREMONT	Conducteur des Ponts et Chaussées, Service Municipal (Assainissement).
DARIÈS	Conducteur municipal (Service des Eaux), Licencié ès Sciences.
DECRESSAIN	Contrôleur des Mines, Professeur à l'École d'Horlogerie.
EYROLLES	Conducteur des Ponts et Chaussées, Professeur de Mathématiques appliquées, Membre de la Société des Ingénieurs civils de France.
HALLOUIN	Inspecteur particulier de l'Exploitation commerciale des Chemins de fer de l'État.
MALETTE (G.)	Conducteur des Ponts et Chaussées (Service ordinaire et vicinal de la Seine).
A.-H. PILLIET (Dr)	Ancien interne, Lauréat des Hôpitaux, Chef du Laboratoire de Clinique chirurgicale de La Charité.
PRADÈS	Rédacteur au Ministère de l'Agriculture, Professeur à l'Association philotechnique.
REBOUL	Contrôleur des Mines.
REVELLIN	Ingénieur civil, Contrôleur des Mines.
ROTTÉE	Conducteur principal des Ponts et Chaussées (Service ordinaire et vicinal).
SIMONET	Conducteur des Ponts et Chaussées, Service municipal (Voie publique).
SAINT-PAUL	Conducteur municipal (Service de l'Eclairage), Professeur à la Société de Topographie de France.
WALLOIS	Conducteur principal des Ponts et Chaussées, Service municipal (Voie publique).

LOCOMOTIVE
ET MATÉRIEL ROULANT

PREMIÈRE PARTIE

LA LOCOMOTIVE

CHAPITRE PREMIER

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

1. Le remorquage des trains de chemins de fer peut s'effectuer par différents procédés de traction mécanique; mais le seul qu'ait jusqu'ici consacré la pratique, celui qui présente les avantages principaux dans les conditions usuelles du service, qui se prête le mieux aux exigences de l'exploitation, aux manœuvres de gares et aux changements de voie, qui permet d'obtenir les plus grandes vitesses et de traîner les poids les plus lourds, consiste dans l'emploi de locomotives à vapeur formant chacune un moteur indépendant. Ces machines utilisent, pour leur propulsion et celle du train auquel elles sont attelées, tout ou partie du poids de l'appareil moteur porté par des roues dont l'adhérence sur le rail remplace le point d'appui manquant à ce véhicule en mouvement.

La puissance motrice de la locomotive est dérivée de la combustion du charbon, dont l'énergie calorifique est transformée en énergie mécanique à l'intérieur des cylindres et par l'intermédiaire de la vapeur.

Cet intermédiaire est coûteux, puisque les 0,12 au plus de l'énergie mise en jeu sont recueillis et utilisés, mais nécessaire, puisque l'on ne connaît pas d'autre mode, pratique et utilisable dans les conditions de fonctionnement

imposés à la locomotive, permettant la transformation de la chaleur en travail.

On doit, pour retrouver l'origine de cette énergie que nous empruntons actuellement à la chaudière à vapeur, se reporter aux premiers âges du monde. Après la condensation de la nébuleuse primitive qui donna naissance au système solaire, la masse lumineuse centrale, aujourd'hui le soleil, emmagasina des quantités prodigieuses d'énergie qu'elle commença, dans la suite, à rayonner à travers l'espace sous forme de chaleur. La portion de l'énergie calorifique, émanée du soleil, que recevait notre globe pendant les premiers siècles de son existence, fut en partie dépensée à la production de la végétation, qui prit un essor dont celle des tropiques, à l'heure actuelle, ne peut donner qu'une faible idée. Sous l'influence chimique et calorifique des rayons solaires, le carbone s'est trouvé fixé dans le corps des végétaux de la période *houillère*. En d'autres termes, la décomposition de l'acide carbonique et de l'eau par les végétaux ne s'est effectuée que par une absorption de chaleur solaire qui, mise en réserve dans la plante, se dégage aujourd'hui par la combustion, laquelle reconstitue les éléments primitifs, acide carbonique et vapeur d'eau.

C'est donc à l'énergie solaire que nous sommes redevables de l'immense accumulation d'énergie qui a été la véritable cause des progrès de la civilisation moderne.

Le charbon, brûlé sur la grille de la machine, s'unit par la combustion à l'oxygène de l'air et met en liberté la même quantité de chaleur qu'il avait empruntée au soleil et avait accumulée pendant la croissance de la plante, qui lui a donné naissance. L'énergie calorifique ainsi mise en jeu est transmise par conductibilité et rayonnement à l'eau contenue dans la chaudière, qu'elle vaporise. Cette vapeur se détend dans les cylindres en produisant un travail utile : une partie de l'énergie calorifique qu'elle contient se transforme en énergie mécanique, que l'on utilise pour faire tourner les roues et remorquer le train.

2. **La locomotive se compose** : d'une *chaudière*, destinée à produire la vapeur nécessaire à l'accomplissement du travail

demandé; d'un *mécanisme*, qui opère la transformation de l'énergie calorifique en énergie mécanique et imprime aux roues motrices un mouvement continu de rotation; d'un *véhicule*, constitué par le *châssis* supportant la chaudière, le mécanisme et les organes accessoires, et par les *roues* et *essieux* avec leurs *boîtes à huile* et leurs *ressorts*.

La chaudière et le mécanisme des locomotives ne diffèrent pas, en principe, de ceux qui sont employés dans les autres applications de la vapeur; ils s'en écartent seulement par les dispositions particulières prises en vue de leur appropriation à cette application spéciale. Ils doivent être aussi simples que possible, ramassés, surtout légers et très robustes. La chaudière doit être établie de manière à permettre, pour un faible poids total, une grande production : ce que l'on obtient grâce à l'adoption du système tubulaire et à l'emploi du tirage forcé dû à l'échappement, dans la cheminée, de la vapeur sortant des cylindres. Comme, d'autre part, la vitesse moyenne de rotation des roues et, par conséquent, la vitesse du piston qui en est fonction sont considérables, le moteur lui-même sera également léger et peu encombrant. Grâce à ces conditions primordiales et à une étude soignée des principaux organes en vue de leur donner, dans des conditions de sécurité très larges, un poids aussi faible que possible, le poids total de la locomotive par unité de puissance est extrêmement minime, soit environ 45 kilogrammes par cheval indiqué sur les pistons, sans compter le poids du tender et des approvisionnements. C'est là, d'ailleurs, une condition vitale de la locomotive : trop lourde et encombrante, elle pourrait à peine se remorquer elle-même. Plus le poids de cette machine est faible par unité de puissance, et plus la vitesse avec laquelle elle peut remorquer un train de poids donné pourra être considérable.

Les roues de la locomotive sont mises en mouvement par l'action de la vapeur, agissant dans deux cylindres au moins, commandant deux manivelles calées à angle droit afin d'éviter les points morts; quand l'une d'elles se trouve près de l'extrémité de la course et que le cylindre correspondant n'est pas en admission, l'autre manivelle est dans le voisinage du milieu de la sienne, et son piston peut être actionné

par la vapeur, si le changement de marche est à fond de course, comme il convient pour le démarrage.

La vapeur pénètre alternativement sur les deux faces des deux pistons se mouvant à frottement doux dans les cylindres placés à égale distance de l'axe, soit à l'extérieur, soit à l'intérieur des longerons. Chaque piston porte une tige sortant du cylindre par un presse-étoupes et articulée, à son extrémité postérieure, par l'intermédiaire d'une bielle, à une manivelle que porte l'essieu moteur et dont le rayon est égal à la moitié de la course du piston. La vapeur est alternativement distribuée sur les deux faces de chaque piston au moyen d'un tiroir qui facilite, en outre, l'échappement de la vapeur au dehors, quand elle a fini d'agir. Ce tiroir est mû par un excentrique ordinairement calé sur l'essieu moteur à un angle de 120° en avant de la manivelle. Afin de diminuer la dépense de vapeur, ce tiroir est disposé de manière que celle-ci, pendant une fraction de la course déterminée, agisse par sa détente. La détente est cette propriété de la vapeur d'eau, lorsqu'elle est placée dans un vase clos de volume successivement croissant, à l'abri des causes extérieures de refroidissement, de se dilater, à peu près comme un gaz, en suivant assez approximativement la loi de Mariotte: *les pressions sont en raison inverse des volumes occupés.*

La locomotive est une machine à vapeur à haute pression et sans condensation; la vapeur d'échappement est dirigée dans la cheminée, où elle active considérablement le tirage par entraînement des gaz.

Presque toujours, aujourd'hui, on accouple à l'essieu moteur un, deux ou trois autres essieux, suivant que la machine est destinée à remorquer des trains de voyageurs rapides, des trains lourds ou de marchandises. Le diamètre des roues varie ordinairement, nous le verrons plus loin, en raison inverse du nombre des essieux accouplés. Les locomotives à roues indépendantes, encore très employées en Angleterre pour les trains rapides, ont des roues motrices dont le diamètre varie de $2^m,20$ à $2^m,50$; les locomotives à quatre roues accouplées, qui constituent en règle générale le type de la machine express, ont des roues de $1^m,80$ à $2^m,20$; les machines à trois essieux accouplés sont ordinairement

montées sur des roues de $1^m,50$ à $1^m,60$ de diamètre, et le diamètre des roues des locomotives à quatre essieux accouplés ne dépasse guère $1^m,35$.

3. Travail effectué par la locomotive. — La locomotive exerce sur la barre d'attelage un effort de traction qui est fonction du poids du train remorqué et de la vitesse imprimée à ce train ; elle doit, de plus, se remorquer elle-même. Le produit de l'effort statique exercé par l'espace parcouru dans l'unité de temps donne le travail utile effectué par la machine.

Ordinairement, l'effort de traction s'exprime en kilogrammes ; son produit par la vitesse en mètres par seconde est équivalent au travail en kilogrammètres ; le quotient de ce dernier par le chiffre 75 donne la puissance en chevaux [1]. Ce travail varie considérablement, pour toute machine remorquant un train de poids donné, suivant le profil et la vitesse.

Une locomotive exerçant un effort de traction de 1.500 kilogrammes à la vitesse de 54 kilomètres à l'heure, ou de 15 mètres par seconde, accomplit ainsi un travail de $\frac{1.500 \times 15}{75} = 300$ chevaux. Ceci ne représente que le *travail utile ;* celui qui est réellement développé sur les pistons, le *travail indiqué*, est notablement supérieur, car il comprend celui qui est absorbé pour mouvoir la machine elle-même et son tender à la vitesse considérée et par les frottements des organes du mécanisme. Le rendement de la locomotive est le quotient du travail utile mesuré sur la barre de traction par la puissance développée sur les pistons.

4. Résistance des trains et des machines. — La résistance opposée par un train et que doit vaincre une locomotive qui le remorque en palier et en ligne droite, à une vitesse constante, se compose de la *résistance au roulement*, du *frottement des fusées* d'essieux dans leurs coussinets et de la *résistance de l'air*.

La *résistance au roulement* est due à ce que le rail et la roue

[1] Le *cheval-vapeur* correspond à 75 kilogrammètres

se déforment légèrement sous l'action du poids qu'ils supportent. S'ils étaient tous deux composés de matériaux parfaitement rigides et durs, le contact ne s'exercerait que par un point, et la résistance au roulement serait nulle ; en réalité, le contact se produit suivant un léger méplat, donnant naissance à une résistance très appréciable, à laquelle vient s'ajouter celle provenant des aspérités et des inégalités de surface des rails.

Le *frottement des fusées* dans leurs coussinets varie suivant la nature des lubréfiants employés et selon les dispositifs adoptés pour effectuer le graissage. Le travail dû à ce frottement augmente avec la vitesse tangentielle de la fusée, c'est-à-dire, pour un même nombre de tours, avec son diamètre. On a donc tout intérêt à donner à la fusée un diamètre aussi faible que possible, en égard aux efforts qu'elle doit supporter sans fléchir ou se rompre. On augmente la surface de portage, produit du diamètre par la longueur, en accroissant la longueur de la fusée.

La *résistance de l'air*, négligeable quand le train se meut lentement, devient très considérable quand la vitesse est élevée; elle croît beaucoup plus vite que la vitesse, à peu près comme son carré. Le procédé le plus efficace pour diminuer cette résistance consiste à composer les trains rapides de voitures présentant autant que possible la même hauteur, la même largeur et le minimum de saillies, et offrant entre elles un intervalle assez faible pour que les faces antérieures des voitures soient protégées en partie du courant d'air par les caisses des voitures qui les précèdent. Ces principes n'ont pas toujours été suffisamment suivis; mais, depuis quelques années, on y attache plus d'importance. Les trains des lignes anglaises, composés de voitures parfaitement uniformes et semblables, au point de paraître constitués par un seul bloc parallélipipédique, sont un excellent exemple à suivre à ce point de vue.

Ces diverses résistances s'expriment en fonction du poids du train, et on ne les sépare pas dans la pratique. On estime aujourd'hui que les résistances totales des trains en palier et en alignement varient de 3 kilogrammes, pour la vitesse de 15 à 20 kilomètres à l'heure, à 5 kilogrammes pour la vitesse

de 40 kilomètres, et à 7 kilogrammes pour la vitesse de 75 kilomètres.

Les *rampes* viennent ajouter un surcroît de résistance, qui est exactement de 1 kilogramme par tonne et par millimètre d'inclinaison. La résistance par tonne d'un train remontant une rampe de 6 millimètres par mètre à la vitesse de 40 kilomètres à l'heure sera ainsi de 11 kilogrammes, au lieu de 5 kilogrammes seulement en palier. Lorsque le train descend la rampe, sa résistance se trouve diminuée d'autant; dans le cas considéré, la résistance, à la vitesse de 40 kilomètres, serait de $5 - 6 = -1$ kilogramme, et le train recevrait, du seul fait de la pesanteur, une impulsion de 1 kilogramme par tonne de son poids. Cela ne veut pas dire que ce train attelé à une locomotive puisse descendre seul la rampe en question à la vitesse considérée, car les résistances de la machine, dont nous n'avons pas encore parlé, sont plus considérables par unité de poids que celles du train.

Les *courbes* fournissent une autre résistance qui s'accroît en raison inverse du rayon de courbure, mais dépend aussi du type de matériel adopté. Cette résistance est plus considérable pour les véhicules à essieux invariablement parallèles et à grand empattement que pour les wagons à faible empattement et surtout que pour les véhicules montés sur des trucks articulés. Avec le matériel usité en France, on estime généralement qu'une courbe de 400 mètres de rayon équivaut à une rampe de 3 millimètres, et une courbe de 200 mètres à une rampe de 5 millimètres. Ainsi, la résistance par tonne d'un train remontant une rampe de 10 millimètres en courbe de 400 mètres, à la vitesse de 20 kilomètres à l'heure, serait égale à $3 + 10 + 3 = 16$ kilogrammes, alors que la résistance du même train ne serait que de 3 kilogrammes par tonne en palier et en alignement.

L'*accélération* du train est aussi une source de dépense de travail d'autant plus grande que cette accélération se produit plus rapidement. Au-delà d'une certaine valeur de l'accélération, la résistance qu'elle entraîne est supérieure à toutes les autres résistances. Le travail absorbé ou, plutôt, emmagasiné est, d'ailleurs, restitué pendant les ralentissements, la vitesse acquise permettant au train d'effectuer un assez long

parcours lorsque le régulateur est fermé. Toutefois, le serrage des freins occasionne la perte d'une fraction très importante de cette énergie transformée à nouveau, par le frottement, de forme mécanique en forme calorifique.

Par exemple, lorsqu'un train, partant de l'état de repos, aura atteint la vitesse de 22 mètres par seconde (environ 80 kilomètres à l'heure), il se trouvera avoir absorbé un travail de 25.000 kilogrammètres par tonne de son poids. Si ce poids est de 150 tonnes, le travail total absorbé se montera à 3.750.000 kilogrammes; pour obtenir l'accélération considérée en 100 secondes, il faudrait, rien que de ce fait, sans tenir compte des résistances matérielles du train et de la machine, dépenser une puissance de 500 chevaux.

Les *résistances propres de la machine* sont au moins doubles, par unité de poids, de celles des autres véhicules. La résistance au roulement est plus forte, parce que, le poids par essieu étant notablement plus considérable, les déformations du rail et de la jante sont plus grandes. Cet effet est en partie, il est vrai, compensé par le plus grand diamètre des roues. Le frottement des fusées est plus élevé à cause de leur diamètre plus grand. La résistance au passage des courbes est également plus considérable, en raison de la plus grande rigidité de la machine, surtout si elle comporte plusieurs essieux accouplés. Enfin, il s'y ajoute un nouvel élément, dû au frottement des organes du mécanisme, pistons, tiroirs, crosses, têtes de bielles, etc... Quant au tender, s'il est bien entretenu, on peut considérer qu'il n'offre pas, par unité de poids, une résistance notablement supérieure à celle des autres véhicules.

Soit, par exemple, un train express pesant 150 tonnes et remorqué par une locomotive de 47 tonnes, dont le tender pèse lui-même 39 tonnes avec ses approvisionnements complets. L'effort total nécessaire pour lui assurer en palier une vitesse de 73 kilomètres à l'heure sera :

Train.....	150 × 7	=	1.050	kilogrammes.
Tender...	39 × 8	=	312	—
Machine..	47 × 14	=	658	—
Total..	236		2.020	kilogrammes

Or, à cette vitesse de 20 mètres par seconde, le travail absorbé sera de 20 × 2.020 = 40.400 kilogrammètres, ou 525 chevaux environ. Pour soutenir la même vitesse en rampe de 4 millimètres et dans des courbes de 600 mètres de rayon, il faudrait ajouter à la résistance précédente 236 × (4 + 1,5) = 1.298 kilogrammes, et le travail total deviendrait (2.020 + 1.298) × 20 = 66.360 kilogrammètres ou 885 chevaux environ.

5. **Adhérence.** — Pour exercer l'effort nécessaire à la traction du train, la locomotive prend son appui sur le rail, grâce au frottement qui existe entre ce dernier et les roues motrices. La valeur limite de cette adhérence est la même que celle qui correspondrait au glissement des roues sur le rail. Les roues, en tournant sous l'action de la force motrice, peuvent donc exercer une poussée longitudinale égale à celle qu'il faudrait appliquer à la machine pour la mettre en mouvement, dans les mêmes conditions atmosphériques, si les roues motrices étaient calées à l'aide d'un frein puissant. Cette adhérence peut donc s'évaluer en fonction du poids supporté par les roues motrices ou poids adhérent ; elle varie naturellement suivant l'état du rail. Quand celui-ci est bien sec, l'effort de traction, si le moment moteur est suffisant, bien entendu, peut s'élever au cinquième du poids adhérent ; il s'abaisse au dixième, et même à moins encore, si le rail est gras ou légèrement humide. Quand le rail est lavé par une grande pluie, il se trouve dans les mêmes conditions, au point de vue de l'adhérence, que le rail sec.

Pour effectuer le démarrage de trains très lourds, on doit accroître le poids adhérent, c'est-à-dire la charge des essieux ou, quand cette charge atteint la valeur limite imposée par la solidité de la superstructure, augmenter le nombre des paires de roues concourant à leur propulsion, en leur donnant le même diamètre et en les conjuguant au moyen de bielles dites d'*accouplement*.

Si l'on admet que le travail à effectuer par des locomotives appartenant à des classes très différentes, telles que les machines express, mixtes ou à marchandises, est sensiblement le même, on devra cependant établir entre elles une distinc-

tion. Ces moteurs doivent, en effet, utiliser diversement leur puissance : les premiers auront à traîner un convoi de faible poids à une grande vitesse ; les derniers devront remorquer des trains de fort tonnage à une vitesse relativement faible ; les seconds, comme leur nom l'indique, se rangeront entre les deux précédents. La puissance étant la même dans les trois cas, les chaudières pourront être semblables, mais le poids adhérent devra varier en raison inverse du diamètre des roues et comme la charge à remorquer.

La charge que l'on peut faire porter à un essieu est généralement comprise entre 15 et 16 tonnes ; mais, en Angleterre et aux États-Unis, on va plus loin, jusqu'à 19 ou 20 tonnes, du moins pour les machines à essieux indépendants.

Quand toutes les roues sont accouplées, la locomotive est dite à *adhérence totale.*

Le *patinage* se produit quand l'effort moteur, dû à la poussée de la vapeur sur le piston, est supérieur à l'effort résistant provenant du frottement des roues motrices sur le rail ; il peut se produire habituellement dans une machine dont les cylindres sont trop largement proportionnés, si le régulateur est ouvert en grand ; mais, généralement, il provient d'une diminution de l'adhérence due à ce que le rail est gras ou légèrement humide. Dans ce cas, l'effort de traction maximum qu'il est possible de développer est indépendant de l'action de la vapeur, l'adhérence imposant une limite qu'on ne saurait dépasser ; pour accroître cette adhérence, on fait écouler du sable fin sur le rail devant les roues motrices au moment où le patinage se produit ; ce sable est contenu dans une boîte métallique que porte la machine et qui est appelée *sablière.*

Le patinage ne tend à se produire, à moins d'une diminution momentanée et très considérable du coefficient d'adhérence, qu'au moment du démarrage ou à la montée des fortes rampes, lorsque la vitesse est faible et que la pression moyenne sur le piston est maximum. En marche normale, comme nous le verrons plus loin, la puissance totale développée est plus grande qu'en rampe, parce que le nombre de tours est lui-même plus grand, mais la pression sur les pistons est moins considérable, et l'effort par tour est notablement

inférieur à celui qui correspondrait à la limite de l'adhérence.

6. Effort de traction. — L'effort de traction de la locomotive comporte deux limites supérieures données, l'une par le produit du poids adhérent par le coefficient d'adhérence, l'autre par l'effort moteur dû à la pression de la vapeur sur les pistons. Il ne sert de rien que l'un d'eux soit supérieur à l'autre. Si la puissance motrice l'emporte, les roues patineront, et l'effort de traction sera égal au plus à celui qui correspond à la limite de l'adhérence. Si le poids adhérent est, au contraire, disproportionné à l'effort moteur, la machine ne pourra exercer qu'un effort de traction correspondant à son effort moteur et n'utilisera qu'une fraction de l'adhérence. Les cylindres doivent être proportionnés de manière que ces deux efforts soient sensiblement égaux; on tend souvent à exagérer un peu le volume des cylindres pour que la machine puisse fonctionner avec une très grande détente ou afin d'être sûr que l'on puisse utiliser toute l'adhérence au démarrage dans les meilleures conditions atmosphériques possibles. En cas de patinage, il faut alors soit envoyer du sable sous les roues, soit ralentir la dépense de vapeur.

L'effort de traction est proportionnel à la pression de la vapeur et au volume des cylindres ou au produit de la surface des pistons par leur course, et inversement proportionnel au diamètre des roues motrices. C'est ce que l'on exprime par la formule $F = \frac{p\,d^2 l}{D}$, où p représente la pression, dans la chaudière, en kilogrammes par centimètre carré; d, le diamètre des cylindres exprimé en centimètres; et D, le diamètre des roues motrices exprimé en mètres.

Mais, en réalité, même au moment du démarrage, où l'on suppose que l'effort de traction est maximum, la pression moyenne de la vapeur dans les cylindres est inférieure à celle qui règne dans la chaudière, par suite de pertes de charge dans les tuyaux et conduits, à travers les lumières du régulateur, etc., et en raison de la détente de cette vapeur. Pour en tenir compte, certaines Compagnies retranchent de la valeur de p, avant de la faire entrer dans la formule ci-dessus, une certaine quantité constante, soit $1^{kg},5$; d'autres

frappent p d'un coefficient réducteur variant de 0,80 à 0,65, ce dernier chiffre étant un peu exagéré en ce qui concerne le démarrage.

Pour une adhérence et une pression constantes, l'accroissement du diamètre des roues entraîne forcément celui des cylindres, non seulement pour produire l'effort de traction voulu, mais aussi pour permettre, malgré la diminution du nombre de tours, à une vitesse donnée, de développer le même travail.

D'autre part, la puissance de la locomotive, même à roues libres, n'est pas limitée par son adhérence insuffisante, mais par la capacité de sa chaudière. Lorsque, au moment du démarrage, la machine se meut très lentement, elle peut, si le volume des cylindres est suffisant, utiliser toute son adhérence, mais elle ne développe, même en fonctionnant à pleine introduction, qu'une puissance totale très inférieure à celle qu'elle produira à toute vitesse; le travail par tour de roue est plus grand, mais le nombre de tours étant beaucoup plus faible, la puissance par unité de temps l'est aussi. Les surfaces de grille et de chauffe des locomotives ne sont pas suffisantes pour permettre, au-delà d'une très faible vitesse, une production de vapeur correspondant au fonctionnement à pleine admission, lequel permet seul d'utiliser toute l'adhérence; aussi, presque aussitôt après le démarrage, doit-on relever les coulisses et diminuer le degré d'introduction dans les cylindres.

L'admission, qui peut être de 75 à 80 0/0 au démarrage, n'est guère supérieure à 15 ou 20 0/0 dans les machines express lancées à toute vitesse; encore, à cause du laminage dans les conduites de vapeur, l'introduction réelle est-elle inférieure à cette admission fictive. Lorsque la machine, remorquant un train, est lancée à toute vitesse, elle développe son travail total maximum, mais le travail par tour est minimum, la pression moyenne effective sur les pistons se trouvant beaucoup plus faible qu'au moment du démarrage. Or, dans tous les cas, ce travail par tour est très inférieur à celui qui correspondrait à l'utilisation de l'adhérence complète à la même vitesse. Il en résulte donc ce fait, d'ailleurs bien connu, que la locomotive ne peut utiliser toute son

adhérence que pendant le démarrage et les quelques instants qui suivent, jusqu'à une limite de vitesse bientôt atteinte et d'autant plus faible, toutes choses égales d'ailleurs, que le rapport du volume des cylindres au poids adhérent est plus petit.

7. Stabilité des locomotives. — Les locomotives se meuvent sur des voies qui, si robustes et unies qu'elles soient en apparence, n'en présentent pas moins certaines inégalités de surface ; les boudins des roues laissent, en outre, entre leur bord extérieur et le champignon du rail un certain jeu, nécessaire pour faciliter le roulement et surtout le passage dans les courbes. Quand ces machines se meuvent sur la voie, elles subissent comme les autres véhicules, du fait de ces inégalités et des réactions latérales de la voie, des chocs plus ou moins violents qui augmentent, en général, avec la vitesse. La stabilité des locomotives est, en outre, affectée, comme nous le verrons plus en détail, lorsque nous nous occuperons de la question des contrepoids, par l'action perturbatrice des organes du mécanisme, qui, dans leur déplacement alternatif, agissent par leur inertie pour communiquer à la machine les mouvements de *recul* et de *lacet*. On doit y ajouter les mouvements de *tangage* et de *roulis*, dus surtout à l'effort oblique exercé sur les glissières ou à l'inclinaison des cylindres, quand ceux-ci ne sont pas horizontaux.

Au point de vue de la sécurité, le mouvement de lacet est le seul qui présente quelque inconvénient sérieux, car il permet à la machine de prendre alternativement une position oblique sur la voie, les boudins des roues extrêmes venant frapper violemment le rail. On peut combattre le lacet soit en diminuant son action, en plaçant, par exemple, les cylindres à l'intérieur des longerons et en rapprochant leurs axes autant que possible, soit en réduisant son effet par l'augmentation de l'empattement et par la suppression des porte-à-faux.

A une certaine époque, particulièrement en France, on cherchait à réduire autant que possible l'empattement des locomotives et on plaçait tous les essieux sous le corps cylindrique, le foyer et les cylindres se trouvant en porte-à-faux,

l'un à l'arrière, les autres à l'avant. On obtenait ainsi des machines comportant le minimum possible d'essieux et pouvant facilement s'inscrire dans des courbes assez raides, sans qu'il soit nécessaire d'avoir recours à des dispositions spéciales, mais qui ne présentaient pas une stabilité suffisante. On dut rapidement y renoncer pour les trains express ; ces locomotives restent encore fort usitées en France pour le service des marchandises. En Angleterre, où ce dernier est conduit à une plus grande vitesse, on n'a jamais construit que des locomotives à grand empattement et sans porte-à-faux, dans lesquelles un des essieux passe derrière le foyer, les cylindres intérieurs se trouvant, d'autre part, reportés aussi près que possible de l'essieu avant.

A mesure que l'on augmentait l'empattement, surtout dans les locomotives express, on était conduit, pour permettre leur passage dans les courbes de faible rayon, à adopter des dispositifs spéciaux, tels que les *boîtes radiales*, les *bissels* ou les *bogies*. Les bogies, ou trucks articulés, auxquels on peut reprocher d'accroître un peu le poids total de la machine, sont un élément très grand de stabilité et ont l'avantage de permettre d'augmenter l'empattement sans nuire à la souplesse ; aussi voyons-nous leur emploi se répandre de jour en jour. Le type de locomotive moderne express, celui que l'on retrouve aujourd'hui sur la plupart des grandes lignes françaises, anglaises, allemandes, américaines, etc., comprend deux essieux parallèles, généralement accouplés, entre lesquels descend le foyer (parfois l'arrière du foyer passe au-dessus du dernier essieu) et un truck articulé à l'avant. Ces machines présentent une grande stabilité et fatiguent peu la voie aux plus grandes vitesses.

Même en ce qui concerne les locomotives à six roues accouplées, on ne craint plus d'ajouter parfois un essieu porteur ou un bogie appelés à améliorer l'assiette de la machine et à permettre l'emploi de chaudières un peu plus puissantes. On obtient ainsi des locomotives plus stables et plus satisfaisantes à tous points de vue.

Les Américains vont même plus loin dans ce sens, puisqu'ils n'admettent pas le porte-à-faux des cylindres à l'avant, même pour les machines à marchandises à huit roues accouplées ;

ils ajoutent toujours à l'avant un bissel ne portant que 3 ou 4 tonnes, qui sert d'essieu directeur.

8. **Élévation de la chaudière et du centre de gravité.** — La préoccupation, qui a longtemps prévalu parmi les constructeurs, de maintenir à une faible hauteur le centre de gravité des locomotives, a certainement contribué à retarder le développement de ces machines. Le corps cylindrique, resserré entre les roues motrices, ne pouvait être élargi ; le foyer, s'il devait passer au-dessus d'un essieu moteur ou accouplé, afin d'être allongé vers l'arrière, n'avait plus assez de profondeur, ce qui entraînait les inconvénients connus: combustion imparfaite, échauffement excessif des plaques tubulaires et fuites aux tubes. C'est seulement du jour où l'on se fut affranchi de ce qu'il est permis aujourd'hui d'appeler un préjugé, que l'on a pu, en rendant la chaudière en quelque sorte indépendante des autres organes, mettre sous ce rapport les machines express dans les mêmes conditions que les locomotives à roues de faible diamètre et accroître notablement leur puissance.

Dans les machines Crampton, l'axe du corps cylindrique était placé à une hauteur de $1^m,605$ au-dessus des rails ; dans les locomotives express du Nord, type *Outrance*, il était à $2^m,12$. Depuis, ces chiffres ont été dépassés en France sur quelques réseaux où, pour la plupart des machines express récentes, l'axe de la chaudière est à une hauteur comprise entre $2^m,20$ et $2^m,28$. Pour des machines actuellement en construction, on est allé jusqu'à la cote de $2^m,45$. De récentes machines express autrichiennes ont l'axe de la chaudière à $2^m,58$ du rail; or, cette cote, maximum en Europe, n'a rien que de très usuel aux États-Unis, où elle se trouve souvent dépassée; la hauteur de l'axe du corps cylindrique atteint jusqu'à $2^m,73$ dans certaines machines récentes.

La surélévation de la chaudière entraîne des conséquences fort importantes :

Entre certaines limites, qui ne sont atteintes encore ni en Europe, ni même en Amérique, la surélévation du centre de gravité des locomotives n'a que de bons effets. Elle entraîne une diminution de la fatigue des voies et des organes cons-

tituant le véhicule de la locomotive : roues, essieux, boîtes à huile et longerons. Elle rend plus doux le roulement des machines, les ressorts entrant mieux en jeu sous l'influence des réactions latérales et au passage des courbes ; elle réduit la tendance au déraillement en accroissant, dans les courbes franchies en vitesse, la charge sur un rail intérieur.

La surélévation de la chaudière paraît constituer le procédé le plus pratique, le plus simple et le moins coûteux d'accroître la puissance des machines, en permettant de donner au corps cylindrique un diamètre supérieur à l'écartement des bandages.

La chaudière ne constituant, en moyenne, qu'un quart environ du poids des locomotives, en élevant la chaudière d'une quantité donnée, on ne relève le centre de gravité de l'ensemble que du quart environ de cette quantité.

Le centre de gravité des locomotives les plus hautes existant actuellement est beaucoup moins élevé que celui des voitures à voyageurs et des wagons chargés ; on peut donc l'élever notablement sans craindre de porter atteinte à la sécurité.

CHAPITRE II

LA CHAUDIÈRE

9. **La chaudière** est l'âme même de la locomotive, l'élément essentiel que Stephenson et Séguin ont dû avant tout perfectionner à l'origine pour que la nouvelle machine fût assurée de vivre. Le succès de la locomotive est tout entier dans sa légèreté, et cependant les chaudières qui étaient usitées à l'époque de son apparition offraient un poids et un encombrement considérables; elles fonctionnaient, en outre, à basse pression. Il fallait à la machine locomotive une chaudière de vaporisation très active, ramassée, et qui se prêtât aux conditions spéciales à cette application, c'est-à-dire qui pût facilement se placer sur un châssis étroit, entre les roues, sans apporter d'obstacle à l'installation des essieux et des différents organes du mécanisme. La locomotive, au sens moderne du mot, n'a existé que le jour où cette chaudière idéale fut trouvée, les essais antérieurs n'ayant donné naissance, à vrai dire, qu'à des engins grossiers, informes et sans puissance. Les deux célèbres inventeurs que nous venons de citer, étudiant la question chacun de leur côté, arrivèrent très rapidement à créer le type de chaudière resté classique depuis lors et qui s'adapte si bien de toutes façons aux conditions qui lui sont imposées, que l'on ne songe même pas, malgré les progrès de la mécanique, à lui en substituer un autre. Depuis Stephenson, on a accru les dimensions et la puissance des chaudières dans une énorme proportion, mais on n'a rien changé au principe, et la chaudière actuelle n'est absolument que le développement régulier de l'appareil primitif.

Pour que la locomotive puisse accomplir le travail qui lui est demandé, il est nécessaire que la chaudière soit en état de fournir, sans que sa pression diminue, la quantité de vapeur débitée à la vitesse considérée par les cylindres, à des introductions variables suivant la charge et le nombre de tours, et cela sans que son poids dépasse une limite imposée par le maximum que doivent supporter les essieux. Il importe en effet que la quantité de vapeur produite soit très considérable par rapport au poids total de la machine, parce que, s'il en était autrement, la locomotive ne serait plus en état d'utiliser une notable partie de son effort de traction à une vitesse un peu considérable.

Dans les chaudières fixes, le tirage s'obtient par l'ascension naturelle des gaz chauds dans la cheminée, et le refroidissement des produits de la combustion, ou plutôt l'échange de leur calorique avec l'eau, s'opère au moyen de surfaces de chauffe généralement peu ramassées, la place ne manquant pas, et disposées surtout en vue de simplifier les chaudières et, par conséquent, de diminuer leur prix ou de faciliter leur entretien. Dans la locomotive, il n'en est plus de même ; pour une même puissance développée, la surface de la grille est considérablement réduite, et la surface de chauffe doit se trouver à la fois plus active et disposée de telle façon que les dimensions extérieures de la chaudière soient diminuées dans une proportion considérable. Or, la réduction de la surface de grille implique nécessairement l'accroissement de l'activité de la combustion ou, ce qui revient au même, du tirage ; comme la cheminée de la locomotive était nécessairement très courte, on a dû prévoir un mode de tirage artificiel qui ne dépendît plus uniquement de la force ascentionnelle des gaz chauds. La chaudière locomotive était déjà trouvée, Stephenson et Séguin lui donnèrent la vie en dirigeant, dans la cheminée, la vapeur d'échappement qui sortait des cylindres à une pression encore notablement supérieure à celle de l'atmosphère. Les gaz étaient entraînés par le jet de vapeur, une dépression se créait dans la boîte à fumée, créant un violent appel d'air à travers la grille. Le tirage se trouvait ainsi considérablement activé, tandis que la chaudière, tout réduit que fût son volume, présentait la surface

de chauffe nécessaire pour utiliser la chaleur dégagée dans le foyer.

Le système tubulaire et l'échappement dans la cheminée sont les deux caractères primordiaux de la locomotive, ceux auxquels elle doit avant tout sa puissance et sa vitesse.

10. La chaudière locomotive, disions-nous, doit, sous un faible volume, fournir un travail considérable. Un exemple n'est pas ici superflu. Il existe des locomotives express capables de développer à toute vitesse une puissance de 800 à 1.000 chevaux, consommant 13 kilogrammes de charbon par kilomètre et vaporisant par heure jusqu'à 8 mètres cubes d'eau. Or, pour alimenter de vapeur une semblable machine, on ne peut guère installer qu'une chaudière ayant une longueur maximum de 6 à 7 mètres, un diamètre maximum de $1^{m},30$, possédant une surface de chauffe de 120 à 150 mètres carrés et une surface de grille de 2 mètres carrés environ. La production de vapeur, si la machine conserve pendant toute la durée considérée sa vitesse la plus élevée ou si le train est très lourd, s'élèvera ainsi à 60 kilogrammes environ par mètre carré de surface de chauffe et par heure, et la quantité de charbon brûlé, à 550 kilogrammes en moyenne par mètre carré de surface de grille et dans le même temps. Or, dans les chaudières fixes, on brûle ordinairement 80 kilogrammes de charbon par mètre carré de grille, et on vaporise de 6 à 9 kilogrammes d'eau par mètre carré de surface de chauffe et par heure. La différence saute aux yeux. La locomotive, lorsqu'elle développe toute sa puissance, brûle environ sept fois plus de charbon par unité de surface de grille et vaporise dix à douze fois plus d'eau par unité de surface de chauffe, dans le même temps. Ces chiffres montrent quelle est l'activité de la chaudière locomotive et quel violent tirage est nécessaire pour l'assurer. Le feu est d'une blancheur éblouissante ; la nuit surtout, l'œil ne peut en soutenir l'éclat.

Il est assez difficile, pour ne pas dire impossible, de donner des chiffres précis concernant les rapports qui doivent exister entre les proportions des différents éléments des chaudières locomotives : surface de grille, surfaces de chauffe directe,

tubulaire et totale. Ces proportions dépendent surtout de la qualité du combustible employé. Ainsi, une grille de surface assez faible, de $1^{m2},70$, comme celle des machines anglaises par exemple, brûlant du charbon de bonne qualité en couche épaisse, pourra être équivalente à une grille de $2^{m2},20$, sur laquelle on brûlera du menu en couche mince ou à une grille de 3 à 4 mètres carrés qui ne recevra que du charbon très maigre, de l'anthracite par exemple, en couche plus mince encore. C'est moins la surface de grille qu'il faut considérer que la quantité de charbon brûlée par unité de temps.

Dans les machines express françaises, le rapport des surfaces de grille et de chauffe est compris entre $\frac{1}{40}$ et $\frac{1}{85}$, suivant les cas. Dans les machines anglaises, il reste dans les environs de $\frac{1}{70}$. Pour certaines machines belges ou américaines, à très grand foyer, brûlant, les premières des menus de qualité inférieure, les autres de l'anthracite, ce rapport s'élève à $\frac{1}{30}$ et $\frac{1}{25}$.

11. La chaudière locomotive appartient à un type uniforme dont les détails seuls varient d'une Compagnie à l'autre. Elle se compose toujours (*fig.* 1 et 2, Pl. I) d'un foyer A, de forme parallélipipédique, d'où les produits de la combustion s'échappent à travers un faisceau tubulaire B renfermé dans un corps cylindrique C, qui, vers l'arrière, forme l'enveloppe du foyer ou boîte à feu, puis se rendent dans la boîte à fumée D et dans l'atmosphère par la cheminée E. Les tubes et le foyer sont plongés dans l'eau dont le niveau supérieur se trouve à une douzaine de centimètres au-dessus du *ciel* du foyer. Les gaz chauds abandonnent donc au liquide, par rayonnement et conductibilité, la majeure partie du calorique qu'ils contiennent, lequel est employé à élever la température de l'eau, puis à la transformer en vapeur. Celle-ci, au fur et à mesure de sa production, s'accumule dans la chambre de vapeur formée par l'espace restant libre à l'intérieur de la chaudière et par le dôme C où se fait la prise de vapeur.

Nous allons maintenant examiner en détail chacune des parties de la chaudière.

12. Proportions et dispositions générales des foyers. — Le foyer doit être étudié à deux points de vue : d'abord, en ce qui concerne ses dispositions générales et l'utilisation du combustible ; ensuite, en ce qui concerne le mode de construction et les matériaux adoptés.

Le foyer A est représenté en coupe longitudinale sur la figure 1, et en coupe transversale sur la figure 2. Il est sensiblement rectangulaire, ses sections horizontale et verticale offrant généralement la forme de rectangles ; toutefois, dans l'exemple que nous avons choisi, le cadre du bas du foyer et la grille sont légèrement inclinés, de sorte que la coupe verticale du foyer, pratiquée suivant le plan longitudinal médian, a la forme d'un trapèze.

La longueur du foyer est limitée par l'écartement des longerons entre lesquels il doit se loger ; la largeur intérieure est égale à cet écartement, diminué de $0^m,20$ à $0^m,25$ pour tenir compte de la hauteur des têtes d'entretoise et de l'épaisseur des lames d'eau latérales et des tôles destinées à les limiter. La largeur intérieure ordinairement usitée pour les foyers des locomotives à voie normale ($1^m,50$) est de $1^m,05$ environ.

La hauteur du foyer est très variable suivant les types de machines ou le genre de combustible brûlé. Quand l'axe de la chaudière se trouve placé à une grande hauteur au-dessus des rails et qu'il ne passe aucun essieu sous la grille, le foyer peut être très profond, le cendrier descendant jusqu'à $0^m,30$ des rails ; c'est le cas des locomotives express dans lesquelles le foyer plonge entre les deux essieux accouplés (machines à bogie Ouest et Nord ; machines anglaises). Ces foyers, nous le verrons, sont surtout appropriés à la combustion des charbons de bonne qualité et des houilles bitumineuses en couche épaisse. Si l'axe de la chaudière est placé assez bas ou si un essieu comportant des roues de grand diamètre passe sous la grille, le foyer est plat ; pour accroître sa profondeur à l'avant, on incline la grille comme sur la figure 3. Les foyers peu profonds et à grande surface de grille conviennent surtout pour brûler les charbons maigres ou les menus. Les

Belges et les Américains construisent des foyers destinés à brûler, pour les premiers, des menus, pour les seconds, des anthracites ; ces foyers sont excessivement plats et débordent quelquefois de part et d'autre au-dessus des roues postérieures, de sorte que, dans ce cas, la réduction de hauteur du foyer permet d'accroître sa largeur et, par conséquent, la surface de grille. En France, le foyer de profondeur moyenne est le plus répandu, du moins pour les machines express, un essieu accouplé passant ordinairement sous la grille (Paris-Lyon-Méditerranée, Nord ; Ouest, anciennes express, etc.).

Lorsque le foyer plonge entre deux essieux, sa longueur est limitée par la nécessité de ne pas trop allonger les bielles d'accouplement que l'on semble limiter à 3 mètres au maximum. Lorsque la grille passe au-dessus de l'essieu postérieur, on peut allonger le foyer vers l'arrière ; mais la nécessité de ne pas créer de grand porte-à-faux trace une limite que l'on ne saurait enfreindre. En outre, on ne doit pas oublier que la trop grande longueur des grilles est un obstacle à une conduite facile du feu et à son chargement. On ne peut guère allonger le foyer vers l'avant, car on réduirait trop la longueur du faisceau tubulaire et son utilisation ; en outre, la position de la paroi avant de la boîte à feu est généralement bien déterminée à l'avance par celle de l'essieu moteur ou accouplé, qui doit passer devant, à une distance suffisante pour permettre le passage des manivelles, quand les cylindres sont intérieurs.

La longueur intérieure du foyer, pour les machines modernes de moyenne puissance, à boîtes à feu profondes employant un bon combustible, varie de $1^m,60$ à $1^m,90$; dans les locomotives plus puissantes, ou brûlant une houille de moins bonne qualité on va jusqu'à $2^m,25$ et $2^m,40$ de longueur ; pour les foyers destinés à brûler des menus ou des anthracites en couches très minces, on va plus loin encore : on a atteint $3^m,20$ en Belgique et $3^m,40$ en Amérique.

Toutefois, on ne doit pas l'oublier, la surface de grille ne peut servir de base comparative entre les puissances de plusieurs types de locomotives qu'autant qu'elles emploient un combustible de qualité analogue et fonctionnent avec une même intensité de tirage.

13. Les foyers doivent être proportionnés en vue d'assurer à la machine la puissance qui leur est nécessaire, dans les conditions normales, avec le genre de houille dont on dispose et en vue d'obtenir une combustion aussi complète que possible de ce combustible. De même, la conduite du feu devra varier avec la nature du charbon et les proportions du foyer.

La conduite du feu se rattache à trois méthodes générales:

La *charge en couche épaisse*, qui se pratique surtout en Angleterre, avec des combustibles de choix et dans des foyers profonds. Le charbon est chargé sur la grille en une masse inclinée, plus épaisse sur l'arrière du foyer, où elle s'élève jusqu'à l'ouverture de la porte.

La *charge par côtés*, la plus généralement usitée, suivant laquelle le charbon est plutôt déposé sur les côtés du foyer qu'au centre ; le chauffeur jette le charbon dans les coins, surtout dans les deux coins arrière, par petites quantités à la fois.

La *charge par couche mince*, employée surtout pour les combustibles menus et l'anthracite, exige l'emploi de grandes grilles, où la combustion est moins vive que dans les deux cas précédents.

14. Le chargement en couche épaisse est, en principe, le meilleur de tous, quand la qualité du charbon s'y prête, surtout parce qu'il permet de développer une plus grande puissance avec une grille de surface donnée. Le foyer peut donc être plus petit, ce qui donne plus de facilités pour l'arrangement général des organes et une notable diminution du poids pour un même travail à développer. Toutefois, ce mode de chauffe exige l'emploi de bonnes houilles demi-grasses et surtout l'addition d'une voûte en briques que l'on complète même souvent par un auvent et une rentrée d'air par la porte. Ces dispositions, jadis spéciales aux machines anglaises, s'étant, depuis quelques années, beaucoup répandues en France, il est intéressant d'en dire un mot.

On sait que la combustion du carbone, quand elle est complète, donne naissance à de l'acide carbonique formé par la combinaison du carbone avec l'oxygène de l'air.

Lorsque 1 kilogramme de carbone s'unit à $2^{kg},75$ d'oxygène pour former $3^{kg},75$ d'acide carbonique, la chaleur dégagée par la combinaison s'élève à 8.080 calories. L'acide carbonique se forme toutes les fois que le carbone est mis, à une température suffisamment élevée, en contact avec un volume d'air très abondant.

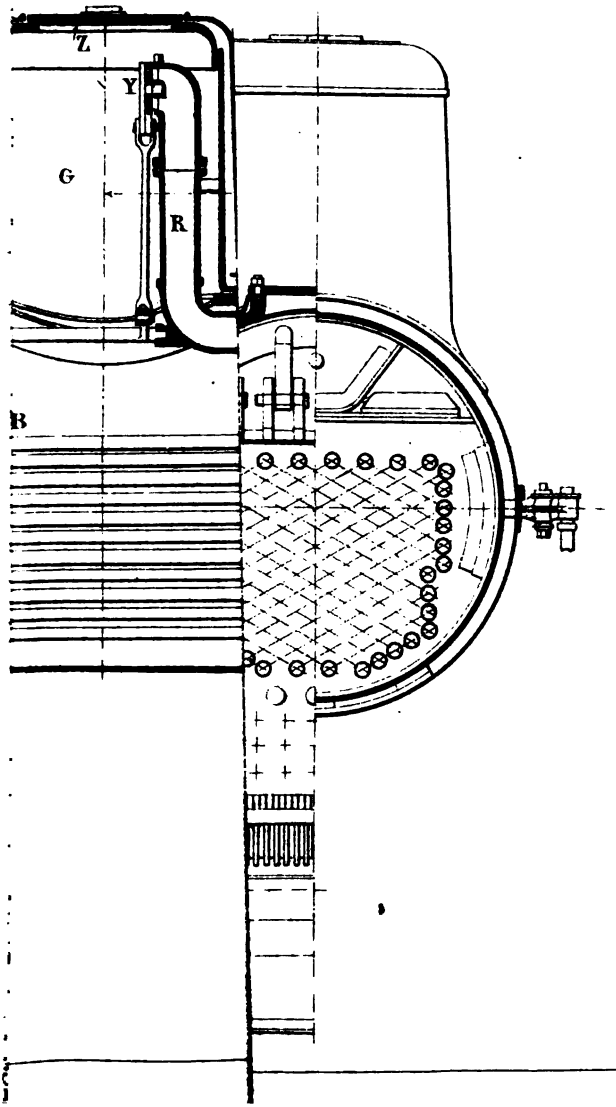
Or, dans les couches inférieures du combustible, l'air se trouve toujours en excès, la combustion du carbone y est complète, et la température, très élevée. Lorsque le gaz acide carbonique traverse la couche de combustible en ignition et qu'il n'entraîne pas avec lui une quantité d'air suffisante, une partie de ce gaz est décomposée en oxyde de carbone et oxygène avec une perte de chaleur de plus d'un tiers, soit de 3.607 calories. D'autre part, si l'admission de l'air dans le foyer est insuffisante, il ne se forme même pas d'acide carbonique, et la combustion, imparfaite, ne donne naissance qu'à de l'oxyde de carbone, avec un dégagement de 4.473 calories seulement.

En outre, les hydrocarbures, que contient toujours la houille en proportion considérable, distillent et, si la température du foyer ou la quantité d'air sont insuffisantes, s'échappent après une combustion très incomplète sans fumée apparente. La fumée est produite par le carbone libre dû à la décomposition de ces hydrocarbures, et ce carbone ne se brûle que si on le met en présence de l'air avant qu'il ait perdu la température à laquelle il peut encore se combiner.

Ces principes sommaires montrent la nécessité où l'on est d'introduire de l'air dans le foyer au-dessus de la grille, du moins dans certains cas spéciaux, particulièrement lorsque l'on fait usage de houilles un peu grasses, en couches épaisses. On trouvera (*fig.* 3) la coupe longitudinale d'un foyer approprié à ce genre de chauffe.

A une certaine distance au-dessus de la grille, se trouve une voûte en briques réfractaires, inclinée de l'arrière à l'avant, et qui vient s'appliquer sur la plaque tubulaire un peu au-dessous de la rangée des tubes inférieurs. Cette voûte ne laisse aux gaz qu'un passage vers l'arrière, du côté de la porte égal au plus à la moitié de la section droite du foyer. La porte

Fig. 2



du foyer se trouve précisément en face du point où la flamme est incurvée par la voûte ; elle est percée de trous nombreux, dont un registre à grille permet de faire varier la section.

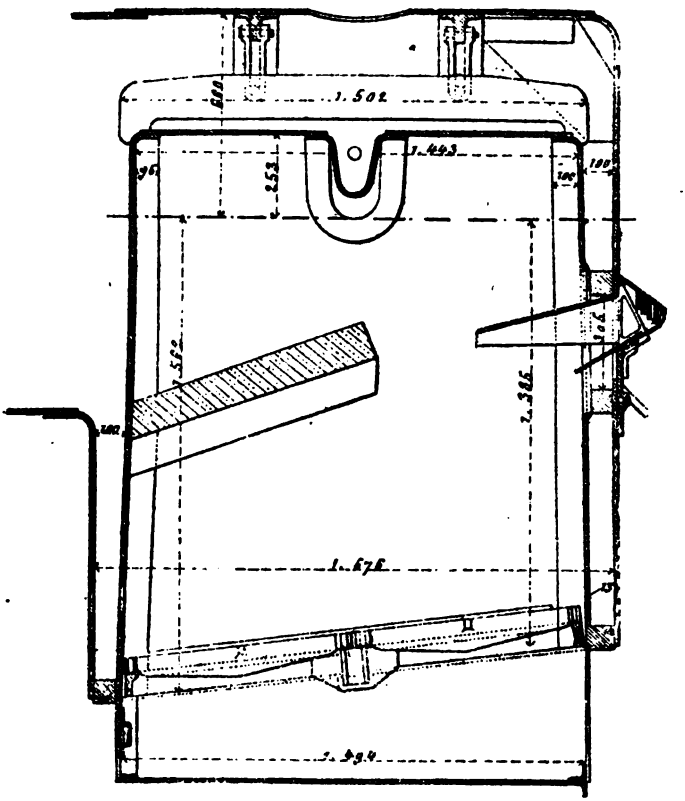


Fig. 3. — Foyer avec voûte en briques.

L'air s'introduit donc dans le foyer à une notable distance au-dessus de la grille ; un auvent en tôle dirige cet air vers le bas et l'empêche de filer directement à travers les tubes. La voûte en briques, dont on ne saurait trop recommander l'emploi

dans la plupart des cas, à moins que le foyer ne soit très plat, a une action multiple. Elle contribue d'abord à brasser les gaz et à les mélanger complètement avec l'air introduit par la porte. Elle réfléchit la chaleur rayonnante du combustible en ignition sur les produits de la combustion et les échauffe aussi à son contact, en raison de sa haute température. En maintenant la température du foyer à un degré suffisant pour brûler l'oxyde de carbone et les hydrocarbures avec un volume d'air minimum, elle contribue à rendre la marche économique et diminue considérablement la fumée. En outre, elle protège la plaque tubulaire, qui n'est plus soumise directement au rayonnement du combustible.

Le brassage est d'autant plus nécessaire que la combustion est plus active, et la vitesse des gaz plus grande. Il permet, en rendant plus intime le mélange avec l'air, d'opérer la combustion avec un moindre volume d'air, ce qui accroît le rendement.

La Compagnie d'*Orléans* emploie depuis très longtemps un genre de foyer fondé sur le même principe, et dont le bon fonctionnement a entraîné la généralisation. L'application du système de foyer *Ten Brinck* a été faite, depuis l'année 1860, à 1.215 locomotives de cette Compagnie, c'est-à-dire à la presque totalité de ses machines. Primitivement, l'emploi de ce système a été fait dans le but de substituer, à l'usage onéreux du coke, celui de la houille, sans toutefois produire de la fumée dans les gares, même avec les combustibles fumeux que la Compagnie d'*Orléans* était tenue d'employer par sa situation géographique. Les excellents résultats obtenus comme fumivorité et économie de combustible firent appliquer successivement à la plupart des locomotives en service ce système de foyer, que reçurent toutes les locomotives construites depuis l'année 1862. Le foyer Ten Brinck présente aussi l'avantage de donner une grande surface de chauffe directe.

Ce système de foyer, en usage à la Compagnie d'*Orléans*, comprend essentiellement, comme l'indique la figure 4, deux grilles, dont une principale G, inclinée à 25°, est fixe, et dont l'autre J, plus petite et située à l'avant de la précédente, est horizontale et mobile autour d'un axe pour servir de jette-feu;

Un gueulard en fonte et tôle E, presque aussi large que le foyer, pour le chargement du combustible, et dont la tôle, inclinée ordinairement à 40°, est placée en prolongement de la grille fixe;

Un large clapet d'air C, disposé au-dessus de la tôle supérieure du gueulard et manœuvrable à volonté par un levier

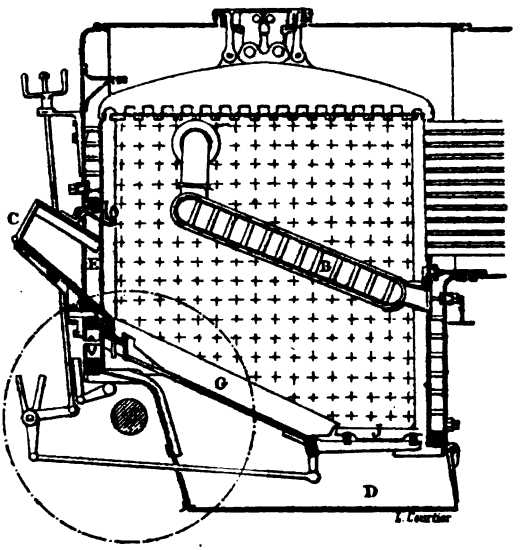


Fig. 4 — Foyer Ten Brinck.

pour régler la quantité d'air à admettre dans le foyer, dans le but de brûler le gaz provenant de la distillation de la houille sur la partie supérieure de la grille fixe;

Un bouilleur plat B, en cuivre rouge, placé au milieu du foyer, à peu près parallèlement à la grille fixe et relié aux faces latérales et d'avant du foyer par quatre tubulures, qui servent à la circulation de l'eau et de la vapeur, en permettant aux dilatations de s'opérer librement.

Avec ces dispositions, la houille est chargée par le gueulard, elle glisse sur la grille fixe au fur et à mesure de sa

transformation en coke, et le mâchefer produit peut s'accumuler sur le jette-feu et en être facilement extrait.

L'air est introduit par le clapet d'air au-dessus du combustible et se mélange avec les gaz ramenés à l'arrière par le bouilleur, de façon à brûler, avec un léger excès d'air, le gaz provenant de la houille qui descend de l'intérieur du gueulard.

Comme organes accessoires du foyer, il faut citer :

Un cendrier fermé D, muni, à l'avant, d'une porte, dont l'ouverture peut être graduée à volonté de la plate-forme de la machine, pour régler le tirage ;

Deux ouvreaux, placés à droite et à gauche, au-dessus de la porte de chargement du combustible, pour permettre de surveiller le feu, de le travailler au besoin avec le pique-feu, de nettoyer le dessus du bouilleur et, enfin, de tamponner, quand cela est nécessaire, les tubes à fumée.

Les foyers disposés suivant le système Ten Brinck sont de véritables gazogènes, car les gaz provenant de la distillation de la houille sur la partie supérieure de la grille fixe sont brûlés au retour de flamme, au moyen d'une insufflation d'air, dirigée dans leur masse par le clapet du gueulard, pour les mélanger aux gaz provenant de la combustion du charbon, situé sur la partie inférieure de la grille fixe.

Dans le foyer type Ten Brinck le mélange des gaz et la combustion sont convenablement obtenus, parce que la projection de l'air a lieu, grâce à la grande longueur du clapet d'air, sur toute la largeur du foyer, et qu'en outre avec la facilité du chargement par le gueulard, et par suite de l'inclinaison de la sole du gueulard et de celle de la grille fixe, le combustible se prépare petit à petit, par distillation progressive, à brûler sans production de fumée.

On peut même charger le foyer Ten Brinck d'une manière exagérée, puisque la quantité d'air introduit peut être augmentée à volonté pour assurer une bonne combustion.

Pour les locomotives à marchandises, la production de fumée dans les gares, ayant moins d'inconvénient que pour les locomotives à voyageurs, on leur a appliqué, à la Compagnie d'*Orléans*, une disposition de foyer Ten Brinck analogue à celle qui a été proposée par M. Bonnet, ingénieur au chemin de fer de l'*Est*. La simplification de M. Bonnet avait été

faite d'abord dans le but d'appliquer le système Ten Brinck aux locomotives existantes, sans être forcé d'enlever par un travail onéreux une grande partie de la face arrière du foyer. Cette simplification, bien que n'assurant pas la fumivorité, ayant donné, en pratique, des résultats assez satisfaisants pour les locomotives à marchandises et certaines locomotives mixtes, a été employée ensuite lors de la construction de locomotives neuves destinées à faire un de ces deux services.

La Compagnie d'*Orléans* possède actuellement 636 locomotives munies du foyer Ten Brinck, et 579 locomotives munies du foyer Ten Brinck-Bonnet.

Dans la disposition du foyer *Ten Brinck-Bonnet*, employé à la Compagnie d'*Orléans*, le gueulard est remplacé par une large porte ovale, et le clapet d'air par un registre à air à ouvertures verticales fixé au centre de la porte; celle-ci est munie intérieurement d'un déflecteur ayant pour but de diriger l'air de face et de chaque côté; en outre, pour augmenter l'insufflation d'air sur les côtés du foyer, on applique, dans le système Ten Brinck-Bonnet, de chaque côté de la porte du foyer et vers la partie inférieure, deux ouvertures formées de tubes rivés, qui permettent continuellement à l'air d'entrer dans le foyer.

Avec la disposition de porte Bonnet, le chargement de la grille de chaque côté à l'arrière est plus difficile qu'avec le gueulard Ten Brinck, et il faut avoir soin, en service, de bien garnir cette partie, où, du reste, le charbon est amené par l'effet du mouvement de lacet.

L'arrière de la grille comporte des gradins latéraux dans les angles arrière.

La grille fixe est formée de barreaux en fer système Raymondière, à section en lame de couteau de 130 millimètres de hauteur, 12 millimètres d'épaisseur à la partie en contact avec le charbon et 6 millimètres d'épaisseur à l'opposé.

La grille est disposée en éventail, c'est-à-dire avec un écartement des barreaux d'environ 6 millimètres à l'arrière du foyer, et d'environ 12 millimètres à l'avant, afin de donner à l'air un passage proportionnel à l'intensité de la combustion.

Le bouilleur est entièrement construit en cuivre rouge avec calottes forgées, et ses entretoises sont, comme celles du foyer, filetées, rivées et percées dans toute leur longueur d'un trou de 6 millimètres. Sa durée, à peu près aussi grande que celle des foyers, varie de dix à quinze ans.

15. Mode de construction des foyers. — En France, et dans toute l'Europe en général, les foyers de locomotives se font en cuivre rouge; aux États-Unis, on les construit toujours en acier doux. Ce dernier métal, qui, au fur et à mesure des progrès de la métallurgie, semble gagner du terrain, même en Europe, pour cet emploi spécial, coûte moins cher que le cuivre et présente une résistance plus considérable, mais il résiste moins bien à l'action de la chaleur, et surtout aux différences brusques de température; les Américains, qui l'emploient d'une manière si générale, paraissent n'avoir réussi qu'en adoptant des épaisseurs très faibles (8 à 9 millimètres), presque la moitié de ce qui est considéré comme nécessaire pour le cuivre. Ce dernier métal, en premier achat, coûte plus cher que l'acier, parce que le prix de son unité de poids est plus élevé et parce que, son épaisseur étant plus considérable, il présente un poids absolu plus grand, mais, d'autre part, il se revend, comme vieilles matières, à un cours peu différent du prix d'achat; il présente, en outre, une résistance plus grande à l'action du feu et des refroidissements brusques et une meilleure conductibilité; sa durée est notablement plus grande. En présence de ces avantages, il n'y a pas lieu de s'étonner que les Compagnies européennes soient restées fidèles au cuivre rouge, que l'expérience avait consacré. Cependant, dans ces dernières années, on a envisagé plus sérieusement l'application de l'acier aux foyers de locomotives, et quelques administrations en ont fait des applications plus ou moins étendues à titre d'essai. Cette application est à la fois rendue plus réalisable par les perfectionnements incessants apportés à la fabrication de l'acier et plus désirable par l'accroissement que subissent continuellement les dimensions des foyers de locomotives, accroissement nécessité par le travail de plus en plus considérable que l'on demande aux machines et qui oblige à rechercher plus de légèreté qu'autrefois.

Le cuivre, employé en France pour la construction des foyers, présente une densité de 8,9 environ, une résistance à la traction de 20 à 22 kilogrammes par millimètre carré, avec un allongement d'environ 30 à 35 0/0. A la température qu'atteignent en service les parois du foyer, cette résistance est réduite d'environ 25 0/0.

Le cuivre, malléable et ductile, se travaille très bien à froid, mais tend à devenir cassant, à s'écrouir, si on ne le recuit ensuite au rouge sombre.

Ce métal s'oxyde peu, même aux plus hautes températures des foyers de locomotives, mais il se brûle parfois au contact des houilles contenant une forte proportion de soufre.

Le foyer (*fig.* 1 et 2, Pl. I) est généralement constitué de trois plaques d'inégales dimensions, dont l'une *a*, repliée deux fois, forme les parois latérales et le dessus du ciel ; une autre *c*, la face arrière ; et une troisième *b*, la face avant, dont la partie haute, qui regarde le corps cylindrique, constitue la plaque tubulaire. Cette dernière, pour assurer une meilleure tenue des tubes, présente une épaisseur plus grande que les autres parois du foyer, a de 20 à 25 millimètres, au lieu de 13 à 15 millimètres.

Ces plaques sont assemblées entre elles à l'aide de rivets en cuivre ou, de préférence, en fer, reliant des pinces relevées aux bords des deux plaques avant et arrière sur lesquelles vient s'appliquer l'enveloppe.

A la partie basse, le foyer est rivé, sur tout son pourtour, à l'enveloppe de boîte à feu, avec interposition d'un cadre en fer forgé *e*, qui maintient les deux parois à une distance de 8 à 10 centimètres ; le vide restant entre elles a reçu le nom de lame d'eau.

Les parois verticales et parallèles du foyer et de la boîte à feu sont reliées par des entretoises en cuivre rouge, espacées d'environ $0^m,100$ d'axe en axe, filetées et taraudées dans les deux plaques, puis rivées aux deux bouts ; elles maintiennent ces parois en s'opposant à leur écartement et à leur déformation sous l'action de la pression intérieure. Ces entretoises sont percées, suivant leur axe, d'un canal circulaire de quelques millimètres de diamètre, ayant pour but de révéler, par des fuites se produisant à l'intérieur du foyer, les fractures

auxquelles elles peuvent être sujettes. Une entretoise cassée doit être remplacée de suite.

La plaque avant du foyer est armée par les tubes qui l'entretoisent avec la plaque tubulaire de la boîte à fumée. Elle

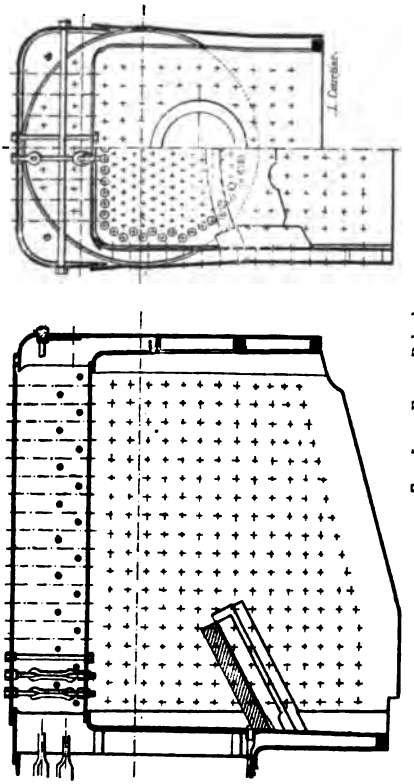


Fig. 5. — Foyer Belpaire.

est, en outre, reliée, par des vis et des tirants *k*, au nombre de six à sept, à la partie inférieure de la virole arrière du corps cylindrique.

La paroi supérieure, ou *ciel du foyer*, est plus difficile à armer que les faces latérales, à cause de la distance plus grande à laquelle se trouve l'enveloppe de boîte à feu et de la forme

différente qu'elle affecte, le ciel étant presque toujours plat ou à peu près, et l'enveloppe, ou *berceau*, étant généralement cylindrique. Pour remédier à cet inconvénient, on emploie souvent aujourd'hui le foyer du type *Belpaire* (*fig.* 5), dont la boîte à feu est de section rectangulaire, les angles étant remplacés par des arrondis de diamètre assez peu considérable. La partie supérieure du berceau étant ainsi parallèle au ciel du foyer, il est facile de rélier les deux plaques par des sortes d'entretoises ou plutôt par des tirants vissés aux deux bouts et maintenus par des écrous. Les deux côtés de la boîte à feu n'ayant plus la forme cylindrique ne sont pas en état de résister sans armature à l'action de la pression intérieure; on les relie deux à deux par plusieurs rangées de tirants horizontaux, placés en travers, parallèles au ciel du foyer et disposés comme les tirants du ciel.

Le foyer Belpaire, à cause de sa légèreté et des facilités qu'il présente pour l'accroissement presque indéfini de la longueur des grilles, est de plus en plus employé par les constructeurs de tous pays, mais il ne constitue pas encore le système le plus répandu.

Le mode d'armature le plus employé est représenté par la figure 1.

Des fermes en fer forgé ou en acier coulé, disposées parallèlement dans le sens de la longueur, à l'extérieur du ciel, viennent s'appuyer par leurs extrémités sur la plaque tubulaire et sur la plaque arrière du foyer. Le ciel est maintenu et serré contre ces fermes à l'aide de vis espacées d'environ $0^m,100$, pénétrant à l'intérieur de bossages venus de forge ou de fonte avec le dessous des fermes. Celles-ci ont une hauteur et une épaisseur telles qu'elles puissent résister sans fatigue à la charge qu'exerce la pression de la vapeur sur le ciel. L'inconvénient de ce système consiste surtout dans la charge excessive que ces poutrelles exercent sur les plaques avant et arrière du foyer, lesquelles peuvent flamber sous la charge. On y remédie, comme on l'a fait dans la chaudière représentée par la figure ci-dessus, en reliant les fermes à l'enveloppe de boîte à feu par les bielles *m*. La charge imposée aux poutrelles est ainsi reportée en partie sur la paroi extérieure de la chaudière pressée, d'autre part, du

dedans vers le dehors, par la pression intérieure, et qui, par suite, ne peut s'affaisser.

Souvent, on préfère placer les poutrelles en travers et faire reposer leurs extrémités sur des corbeaux rivés contre l'enveloppe de boîte à feu, à l'intérieur. C'est là un excellent système et qui s'applique aux foyers les plus longs.

Souvent, on emploie une disposition analogue à celle de Belpaire, mais en conservant au berceau la forme circulaire. Les parties filetées des tirants s'emmanchent obliquement dans cette enveloppe, par suite de sa forme, sauf pour les rangées très voisines de l'axe ; on est alors obligé de rapporter sous les têtes extérieures des rondelles d'épaisseurs inégales rachetant la différence de hauteur. Quelques Compagnies ont adopté un système intermédiaire en donnant au ciel du foyer, dans le sens transversal, une forme à peu près circulaire ; les tirants-entretoises peuvent alors être disposés radialement, sans présenter, soit sur le ciel, soit par rapport à la tôle d'enveloppe, une grande obliquité. Ce dispositif a été surtout appliqué en Angleterre et aux États-Unis.

Dans le système *Polonceau*, appliqué en Autriche et à des locomotives de la Compagnie d'*Orléans*, le ciel est formé d'une série d'arcs en U se reliant par leurs pinces verticales, relevées (*fig.* 6 et 7) et formant des nervures qui arment le tout. Ce dispositif consiste donc à supprimer les fermes pour les remplacer par des nervures faisant corps avec la plaque elle-même et présentant un poids beaucoup moindre.

16. La porte du foyer est constituée par une ouverture, de forme sensiblement elliptique, placée à une distance convenable au-dessus de la grille et pratiquée dans la paroi arrière du foyer. Le pourtour de cette porte est constitué par un cadre, analogue à celui qui forme la partie inférieure du foyer, mais beaucoup plus petit et plus léger, sur lequel sont rivées la plaque du foyer et la tôle d'enveloppe.

La partie mobile de la porte est généralement constituée par un seul battant, pouvant tourner autour d'une charnière verticale située sur le côté et se fermant à l'aide d'un loqueteau ordinaire. Une contre-porte intérieure, formée par une tôle, réunie à la porte proprement dite par quelques entre-

toises creuses que traversent des boulons, protège cette dernière de l'action directe du feu. Quelquefois la porte est munie d'un registre à volets permettant une admission d'air variable au-dessus de la grille (*Ouest, Est*).

Un bon système de porte est celui qui se compose de deux plaques coulissant le long de la face arrière de la boîte à feu, s'éloignant quand on ouvre la porte, se rapprochant quand on la ferme. Un seul levier permet de manœuvrer à la fois les deux battants.

Avec les foyers comportant une voûte en briques, on emploie souvent une porte en fonte, s'ouvrant vers l'intérieur, autour d'une charnière horizontale placée à la partie supérieure de l'ouverture.

La partie inférieure du cadre de la porte et les pinces qui viennent s'y fixer sont protégées du choc des outils de chauffe par une pièce en fonte ou en tôle emboutie, appelée *pare-ringard*.

17. Boîte à feu. — La boîte à feu, assez improprement nommée, constitue l'enveloppe extérieure du foyer. Elle se fait toujours en tôle de fer ou d'acier doux, et appartient à trois types principaux :

1° La boîte à feu, dite du type *Crampton* (*fig.* 1 et 2, Pl. I), dont le berceau, placé dans le prolongement du corps cylindrique, affecte, à la partie supérieure la forme d'un demi-cylindre relié aux parois latérales, dont l'écartement est un peu moindre que son diamètre, par des congés plus ou moins allongés. C'est encore le type le plus employé aujourd'hui ; on le rencontre sur beaucoup de machines appartenant à nos différentes Compagnies, mais il tend de jour en jour à céder la place au type Belpaire ;

2° La boîte à feu renflée, à peu près semblable à la précédente, avec cette différence que le rayon de l'enveloppe est plus grand que celui du corps cylindrique ; le raccord entre ces deux parties est obtenu à l'aide d'une pièce en tôle emboutie, de forme assez compliquée. Ce genre de boîte à feu présente l'avantage d'accroître le volume de vapeur, mais il est plus lourd et plus dispendieux que le précédent ; il est aussi beaucoup moins employé aujourd'hui ;

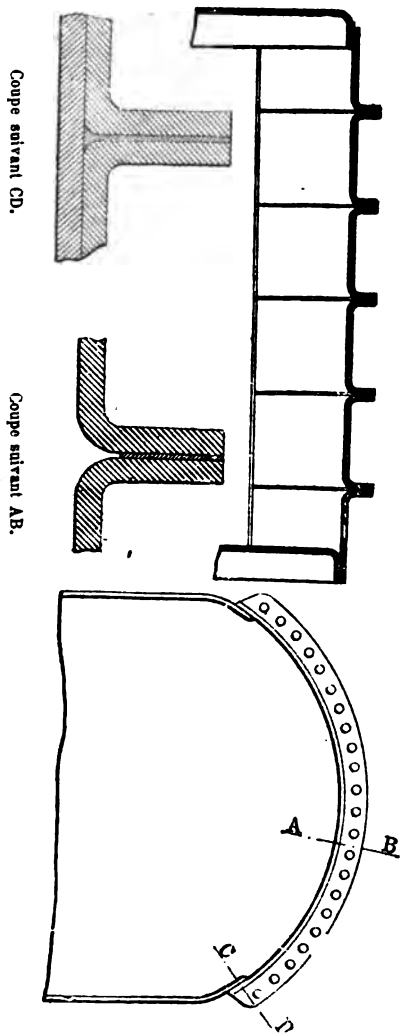


Fig. 6 et 7. — Ciel de foyer E. Polonceau.

3° La boîte à feu *Belpaire*, dont nous avons parlé plus haut, permet une disposition assez rationnelle des armatures du ciel du foyer et possède une légèreté relative. Elle se répand de plus en plus ; on la trouve sur les machines construites récemment pour les Compagnies du *Nord*, de *Paris-Lyon-Méditerranée* et de l'*Ouest*. Elle est à peu près uniquement employée en Belgique, et se trouve depuis peu l'objet d'une grande faveur aux États-Unis. Quel que soit le type de foyer adopté, la boîte à feu se trouve complétée à l'avant par une tôle dont la partie supérieure, échancrée en forme semi-circulaire, est rattachée à la partie arrière du corps cylindrique par une pince rivée.

La face arrière de la chaudière est formée par une tôle emboutie sur son pourtour et rivée au berceau de la boîte à feu. Elle est rivée au cadre du foyer à sa partie inférieure et, vers son milieu, au cadre de la porte.

18. Corps cylindrique. — La partie cylindrique de la chaudière est composée de viroles assemblées entre elles par des rivures à la boîte à feu et à la plaque tubulaire (*fig.* 1, Pl. I), qui limite la chaudière à l'avant. Les viroles, suivant la longueur du corps cylindrique, sont au nombre de deux ou de trois. Elles sont assemblées à recouvrement ou à francs bords, par des couvre-joints intérieurs et extérieurs. Dans le premier cas, les viroles sont ou *télescopées*, c'est-à-dire de diamètres successivement plus grands ou plus petits en allant de la boîte à feu à la boîte à fumée, ou bien *alternées*, les deux viroles extrêmes ayant le même diamètre, et la virole milieu, un diamètre extérieur égal au diamètre intérieur des deux premières.

Les viroles sont formées par une tôle de fer ou d'acier doux d'une épaisseur de 12 à 16 millimètres, suivant le diamètre et le timbre de la chaudière, enroulée à la machine à cintrer et dont les deux extrémités, qui viennent se recouvrir, sont réunies par une double rivure.

A l'avant, le corps cylindrique est fixé à la plaque tubulaire de la boîte à fumée.

Dans la plupart des locomotives, cette plaque tubulaire, de forme circulaire, pénètre à l'intérieur de la virole avant. Elle est emboutie sur tout son pourtour, et c'est la pince ainsi formée, tournée à la partie extérieure et regardant vers l'avant, qui sert à recevoir la rivure de fixation avec le corps cylindrique. Ce mode de construction est le plus répandu sur le continent européen et aux États-Unis. En Angleterre, on préfère les boîtes à fumée faisant saillie sur le corps cylindrique qui vient butter contre la plaque tubulaire d'un diamètre plus considérable. La virole avant est fixée et rivée à cette plaque au moyen d'une grosse cornière cintrée tournée vers l'avant et alésée. La partie inférieure de la plaque tubulaire se prolonge vers le bas et se trouve boulonnée au massif des cylindres.

La plaque tubulaire avant est presque toujours en fer ou en acier doux ; son épaisseur varie de 18 à 20 millimètres.

Les parties médiane et inférieure de la plaque tubulaire sont maintenues par les tubes, qui les entretoisent avec le foyer, mais la partie supérieure a besoin d'être armée pour supporter sans fléchir la pression de la vapeur. Autrefois, on

employait à cet effet des tirants de section circulaire disposés parallèlement à l'axe de la chaudière et reliant la plaque tubulaire à la face arrière de la chaudière. Les tirants étaient maintenus sur ces plaques au moyen d'écrous intérieurs et extérieurs. On préfère généralement aujourd'hui armer la partie supérieure de la plaque tubulaire, comme celle de la face arrière, par des poutrelles transversales formées de tôles et de cornières, qui les relient de chaque côté aux parties voisines des viroles, comme on le voit figure 1.

L'immense majorité des locomotives est munie d'un *dôme* à l'intérieur duquel se fait la prise de vapeur à un niveau aussi éloigné que possible de celui du liquide en ébullition, ce qui assure une plus grande siccité de la vapeur. Cependant, autrefois, les Crampton et certaines machines anglaises n'avaient pas de dôme, la vapeur étant prise à l'aide d'un tuyau crépiné, placé à la partie haute de la chaudière et disposé suivant la longueur; cette disposition avait pour effet de répartir la prise de vapeur sur une plus grande surface et d'éviter l'effet de succion déterminant l'entraînement d'eau. On contrebalançait ainsi l'effet que pouvait produire l'absence de dôme, mais il faut dire que l'on était obligé, avec ces machines, de marcher avec un niveau d'eau assez bas, sous peine d'entraînements et de projections d'eau dans les cylindres. L'usage du dôme donne incontestablement une plus grande immunité sous ce rapport.

On peut, d'ailleurs, comme la Compagnie *Paris-Lyon-Méditerranée*, combiner son emploi avec celui du tuyau crépiné. Il n'est pas besoin, pour que son action soit efficace, de donner au dôme un volume ni une hauteur considérables, au détriment de la légèreté et de l'aspect de la machine.

Le dôme C se place généralement sur le corps cylindrique (*fig.* 1, Pl. I), au milieu d'une des deux ou trois viroles qui le composent. Quand on craint le poids sur l'arrière, on reporte le dôme à l'avant, près de la boîte à fumée. Il est rare aujourd'hui que l'on place le dôme au-dessus du foyer, à cause de l'activité trop considérable de l'ébullition en ce point, qui causerait des entraînements d'eau.

Le dôme se compose ordinairement d'une virole disposée

verticalement au-dessus du corps cylindrique, auquel elle est fixée par une embase en tôle emboutie. Le dessus est constitué par un couvercle en tôle ou en fonte, portant en son milieu soit un plateau démontable pour la visite de la chaudière, soit les cuvettes des soupapes de sûreté.

Le trou percé dans la chaudière par le travers du dôme et qui sert à établir la communication entre les deux capacités affaiblit nécessairement la virole dans laquelle il est pratiqué; on y remédie en rivant autour de cette ouverture, et en dessous de la pince d'attache du dôme, une tôle doublante soudée sur ses bords et formant une véritable collerette.

Dans la chaudière que nous avons prise comme exemple, on voit, au-dessus du foyer, une autre ouverture pratiquée dans l'enveloppe de la boîte à feu et munie d'un plateau démontable. Cette ouverture sert de trou d'homme pour la visite du ciel du foyer, et son couvercle reçoit une colonnette pour les soupapes de sûreté et les prises de vapeur accessoires.

Les tôles employées pour la confection du corps cylindrique et de l'enveloppe de boîte à feu se font en fer ou en acier, ce dernier métal tendant de plus en plus à remplacer le premier.

Pour les tôles en fer, on demande généralement une résistance de 36 kilogrammes environ par millimètre carré, avec un allongement de 15 à 20 0/0, mesuré sur une longueur de $0^{m},20$. La tôle de fer n'est jamais aussi homogène que la tôle d'acier, et les meilleures sont sujettes à se dédoubler, surtout pendant le travail d'emboutissage.

Les Compagnies qui emploient les tôles d'acier stipulent d'ordinaire que le métal doit être obtenu au four Martin, généralement à sole basique, et qu'aucune tôle ne peut être obtenue par la réunion de plusieurs lingots. On demande généralement une résistance comprise entre 40 et 43 kilogrammes, avec un allongement minimun de 26 0/0.

Les essais de traction sont ordinairement complétés par des épreuves à froid et à chaud, après trempe, telles que : poinçonnage, pliage à bloc, etc. Les aciers ne doivent pas prendre la trempe.

19. Tubes. — Les gaz chauds, appelés par le tirage, s'échappent du foyer dans la boîte à fumée, en traversant un faisceau de tubes métalliques, d'un diamètre extérieur de 45 à 50 millimètres environ, entourés par l'eau de la chaudière, où ils achèvent de se refroidir en abandonnant au liquide la plus grande partie du calorique qu'ils contiennent. La surface utile de ces tubes, comptée extérieurement ou intérieurement, suivant les habitudes des Compagnies, forme ce que l'on appelle la *surface de chauffe tubulaire*, par opposition à la *surface directe*, qui est celle que présente le foyer proprement dit. Le rapport existant entre ces deux surfaces est loin d'être constant; il varie dans de très larges limites, suivant que la machine possède un très grand foyer avec des tubes courts, ou un foyer de faibles dimensions avec des tubes longs. Dans les premières, le rapport de la surface directe à la surface tubulaire peut ne pas dépasser 1/9e, tandis qu'il peut atteindre 1/20e dans les secondes. Comme exemple du premier type, nous pourrons citer les machines express du *Nord* et surtout les locomotives récentes de la Compagnie *Paris-Lyon-Méditerranée* et celles des chemins de fer de l'*État Belge*. La tendance semble être actuellement, un peu partout, de diminuer la valeur de ce rapport, qui était de 1/21, dans les anciennes locomotives à huit roues accouplées de la Compagnie *Paris-Lyon-Méditerranée*.

S'il s'agissait simplement d'obtenir, dans la locomotive, une vaporisation aussi grande que possible par unité de poids de combustible brûlé sur la grille, on aurait intérêt à accroître, tout au moins jusqu'à une certaine limite, la longueur des tubes entre plaques, de manière que les gaz s'échappent dans la boîte à fumée à une température aussi basse que possible. C'est ce que l'on cherchait à réaliser autrefois en France, sur certains réseaux, en donnant aux tubes des longueurs atteignant et quelquefois dépassant 5 mètres. On augmentait en même temps le volume d'eau chaude compris dans la chaudière, ce qui facilitait la montée des rampes et permettait plus facilement de donner de temps à autre un coup de collier, la chaudière faisant fonction d'accumulateur de chaleur. Mais, d'autre part, la locomotive devant traîner sa chaudière, on doit, surtout à mesure que l'on augmente la vitesse, don-

ner aux chaudières un poids aussi faible que possible en comparaison de leur puissance absolue. Il y a un juste milieu à garder entre la chaudière trop longue et trop lourde, mais économique, et la chaudière trop courte et d'un rendement médiocre. Il paraît prouvé que l'on avait, à une certaine époque, exagéré la longueur des tubes, et l'on fait aujourd'hui des chaudières dont le poids total, comparé à celui qui est vaporisé dans l'unité de temps, est plus faible qu'autrefois.

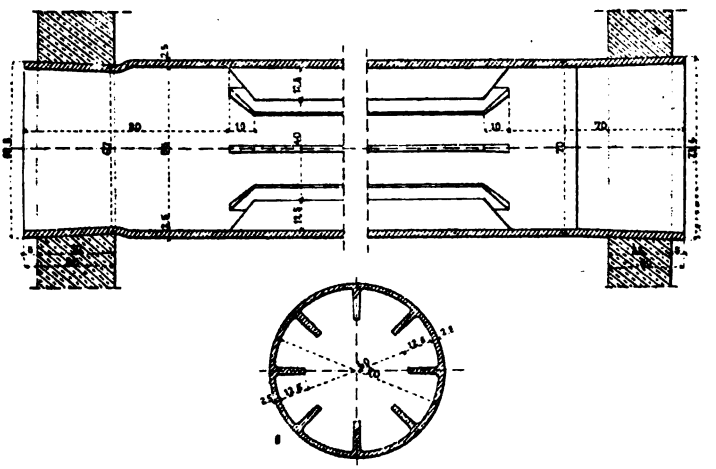


Fig. 8. — Tube à ailettes.

L'introduction récente des tubes à ailettes, du système *Serve*, a permis même d'aller plus loin, dans cette voie, qu'on aurait pu l'espérer il y a peu d'années. Les tubes à ailettes (*fig.* 8) diffèrent des tubes lisses employés jusqu'à ce jour, en ce qu'ils sont garnis à l'intérieur d'un certain nombre d'ailettes longitudinales destinées à augmenter la surface de chauffe en contact avec les gaz. On sait, en effet, que la chaleur se transmet plus difficilement des gaz au métal que du métal à l'eau. Il est donc tout naturel d'augmenter le plus possible la surface de chauffe en contact avec les gaz. Les tubes Serve peuvent donc donner la même vaporisation que les tubes lisses, tout en présentant une moindre longueur et

semblent permettre d'augmenter la puissance des machines sans changer leur poids ou de diminuer leur poids sans réduire leur puissance.

Toutes les nouvelles locomotives de la Compagnie *Paris-Lyon-Méditerranée* et les machines express résultant de la conversion des anciennes locomotives en un nouveau type à bogie ont reçu des tubes Serve d'un diamètre de 65 millimètres ayant une longueur utile entre plaques de 3 mètres.

L'efficacité de la surface de chauffe diminue à mesure que l'on s'éloigne du foyer.

La production, par mètre carré de surface de chauffe, est plus considérable autour du foyer que dans la partie postérieure des tubes, plus élevée dans celle-ci que vers la partie antérieure. En général, la production de vapeur par unité de surface est trois fois plus grande pour le foyer que pour la tubulure. On conçoit donc que l'on peut, sans perdre beaucoup de calorique, supprimer la partie antérieure des tubes, quand ceux-ci sont de grande longueur.

Les tubes, pendant de longues années, ont été exclusivement confectionnés en laiton à 30 0/0 de zinc; ce métal résiste plus longtemps que le fer à l'action corrosive des produits de la combustion et s'entartre moins à l'extérieur; d'autre part, le tube en laiton coûte deux fois plus cher que le tube en fer, et beaucoup de Compagnies y renoncent aujourd'hui, avec avantage, semble-t-il. En Europe, on préfère les tubes en acier et, aux États-Unis, les tubes en fer. En Angleterre, on a monté récemment un grand nombre de tubulures en cuivre rouge à peu près pur, mais durci.

L'épaisseur des tubes varie de 2 à 3 millimètres.

L'assemblage des tubes sur la plaque tubulaire du foyer demande beaucoup de soins pour sa construction et d'attention en service. L'emmanchement des tubes est, d'ailleurs, effectué très simplement. La plaque est percée de trous circulaires dans lesquels les tubes sont entrés à frottement dur. On vient ensuite les mandriner intérieurement au *dudgeon*. Cet appareil serre uniformément le métal contre le pourtour des trous et rabat en même temps le bord des bouts des tubes sur la plaque. On termine généralement l'assemblage en rivant au marteau ce bord rabattu et en en-

fonçant, dans le bout du tube, une bague conique en acier, de 2 millimètres d'épaisseur et de 40 millimètres de longueur environ. Les tubes sont assemblés de même sur la plaque tubulaire avant; mais on se dispense alors des viroles. Avec les foyers en acier, lorque les tubes sont eux-mêmes en acier ou en fer, il est bon, comme on le pratique aux États-Unis, de remplacer la bague intérieure par une virole extérieure en cuivre rouge qui épouse parfaitement, lors du dudgeonnage, la forme des trous et assure une étanchéité complète, même avec des plaques très minces.

Les tubes en fer et en acier, comme les tubes en laiton, sont généralement *raboutés*, tout au moins du côté du foyer. Le raboutage consiste à souder au tube, avec beaucoup de soin, un bout en cuivre rouge qui forme la partie pénétrant dans la plaque tubulaire. Le cuivre rouge, plus ductile que l'acier, épouse mieux que lui la forme du trou et présente une meilleure étanchéité. Pour les tubes en laiton, le raboutage a pour effet de présenter à l'action du feu un métal mieux fait pour lui résister.

Les tubes entretoisent les deux plaques tubulaires et les empêchent de se déformer sous l'action de la pression intérieure. Toutefois, entre certaines limites, ils tendent à écarter légèrement ces plaques, parce qu'ils se dilatent plus que l'enveloppe de la chaudière, en raison de la température plus élevée à laquelle ils sont portés ou de leur coefficient de dilatation très élevé s'ils sont en laiton.

20. Augmentation de puissance de la chaudière. — La puissance des chaudières locomotives a subi, depuis quelques années, un accroissement très considérable. Leur développement est cependant limité par la nécessité de les installer sur le châssis de la machine et de disposer le corps cylindrique entre les roues motrices, quand elles sont de grand diamètre. Les limites se trouvent reculées depuis que l'on ne craint plus de relever l'axe des chaudières d'une quantité suffisante pour que le foyer puisse, sans être trop plat, passer au-dessus de l'essieu arrière, s'il est moteur ou accouplé, et pour que le corps cylindrique puisse recevoir un diamètre supérieur à l'écartement des bandages.

Le diamètre du corps cylindrique joue, en effet, un grand rôle dans l'économie générale de la chaudière, puisqu'il renferme les tubes destinés à constituer la plus grande partie de la surface de chauffe et à livrer passage aux produits de la combustion. Or, la surface des tubes, comme leur section, doit subir un accroissement à peu près proportionnel à celui de la surface de grille. Afin de disposer un plus grand nombre de tubes, on est conduit à augmenter le diamètre du corps cylindrique.

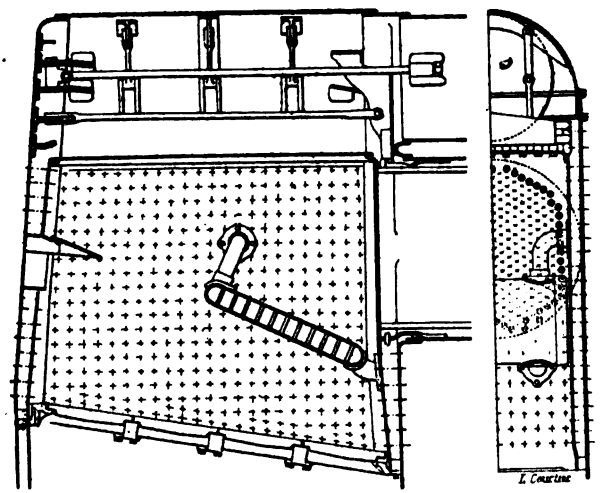


Fig. 9. — Foyer de l'*Est*, du type Flamant.

La Compagnie de l'*Est*, pour ses nouvelles locomotives express, a adopté une autre solution, que nous devons signaler (*fig.* 9). Le corps cylindrique n'a pas été relevé, et son diamètre est tel qu'il puisse se loger entre les roues motrices, seulement on le remplit de tubes jusqu'en haut, le ciel du foyer se trouvant à peu près de niveau avec la génératrice supérieure du corps cylindrique. Au-dessus de celui-ci, on place un réservoir cylindrique, parallèle à la chaudière, et de diamètre plus faible, qui communique avec la chaudière par un certain nombre de tubulures convenablement placées,

et par un vaste espace libre, ménagé au-dessus du foyer. Le niveau de l'eau arrive à peu près au milieu de ce second réservoir, dont la partie supérieure forme chambre de vapeur.

21. Boîte à fumée. Cheminée et échappement. — La boîte à fumée est un organe de la machine plus important qu'on peut être tenté de le croire au premier abord. De sa bonne disposition, de ses heureuses proportions, dépendent beaucoup le bon fonctionnement de la machine et l'activité de la chaudière.

En ce qui concerne leur construction, les boîtes à fumée se rattachent à deux types principaux.

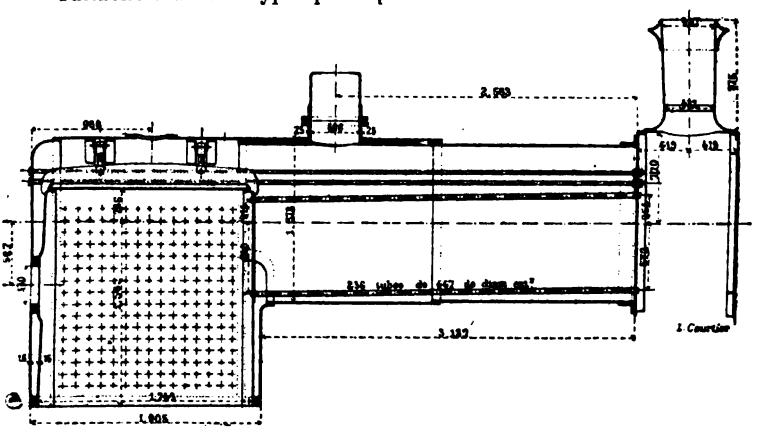


Fig. 10. — Coupe longitudinale d'une chaudière à foyer profond.

Dans le premier (*fig.* 1, Pl. I), l'enveloppe de la boîte à fumée, cylindrique, est formée par le prolongement de la virole avant de la chaudière ou, mieux, par une tôle plus mince, de 8 à 10 millimètres, rivée sur l'arrière, à la partie antérieure de la virole avant, soit directement, soit avec interposition d'un anneau en fer forgé qui augmente le diamètre de la boîte à fumée.

Dans le second type (*fig.* 10), l'enveloppe de la boîte à fumée, en saillie sur le corps cylindrique, n'est arrondie que

latéralement et à la partie haute ; elle se prolonge vers le bas et forme au-dessous des derniers tubes un espace rectangulaire assez considérable, où les escarbilles peuvent s'amasser sans venir obstruer ces tubes. C'est là le principal avantage de ce système, à peu près uniquement répandu en Angleterre, mais auquel on préfère partout ailleurs la boîte à fumée du premier type, un peu plus simple de construction, et permettant une attache facile de la chaudière sur ses supports, à l'avant.

Sur l'avant, la boîte à fumée est formée par une tôle munie d'une porte, qui doit s'ouvrir pour le nettoyage des tubes et de la boîte elle-même. Cette porte doit fermer très hermétiquement pour éviter les rentrées d'air qui nuisent au tirage et rallument les escarbilles dans la boîte. Autrefois, en France, on n'employait que la porte à deux battants s'ouvrant suivant le plan vertical médian, dont la construction était compliquée et dont l'étanchéité laissait beaucoup à désirer. Presque toutes les Compagnies l'ont remplacée, depuis quelques années, par la porte ronde d'origine anglaise, qui remplit mieux son but. Cette porte, constituée d'un battant unique, circulaire et bombée, peut tourner autour de charnières fixées d'un côté seulement. Elle est appliquée fortement sur tout son pourtour par le serrage d'un verrou et d'un écrou à volant agissant sur une barre transversale.

La boîte à fumée est surmontée de la cheminée, dont la hauteur n'est limitée que par le gabarit des travaux d'art. La hauteur de ce gabarit au-dessus du rail varie, en France, de $4^m,15$ à $4^m,25$, suivant les Compagnies. La longueur très faible des cheminées, surtout dans les machines récentes qui sont très hautes, est tout à fait insuffisante pour assurer le tirage naturel ; l'aspiration des produits de la combustion est produite, on le sait, par le jet de vapeur d'échappement sortant des cylindres. Lorsque le régulateur est fermé, on a besoin d'activer le tirage, et l'on envoie dans la cheminée un jet de vapeur, venant de la chaudière, par un petit tuyau appelé *souffleur*.

Les cheminées des machines de certains réseaux français, celles de *Paris-Lyon-Méditerranée* et de *Paris-Orléans* par exemple, sont munies, à leur partie supérieure, d'un écran

qui a pour but d'empêcher que le vent ne coupe le courant s'échappant par la cheminée.

Autrefois, toutes les machines françaises étaient munies d'un *capuchon*, sorte de registre tournant qui permettait de masquer complètement la cheminée, lorsque, pendant les stationnements prolongés, on voulait supprimer le tirage. L'adoption de cendriers munis de portes a fait abandonner cette disposition par beaucoup de Compagnies.

Les cheminées des locomotives ont une forme cylindrique ou légèrement tronconique, la grande base regardant vers le haut; il ne semble pas que la forme de la cheminée influe beaucoup sur son utilisation. Les cheminées se font généralement en tôle; mais, à l'étranger, on les fait souvent en fonte, ce qui leur assure une durée plus grande, mais les alourdit notablement. On place généralement à la partie haute de la cheminée un boudin ou un capuchon qui la raidit et en améliore l'aspect.

La plupart des locomotives, et en particulier toutes les machines françaises, sont munies d'une *grille à flammèches* formée de barreaux en fer rond espacés de 1 centimètre au plus, placée dans la boîte à fumée, et que les gaz doivent traverser avant de se rendre dans la cheminée. Cette grille évite la projection, au dehors, des escarbilles d'un certain volume, qui pourraient mettre le feu aux propriétés riveraines.

Dans les locomotives américaines, où le tirage est très violent, on a dû remplacer ces grilles par de véritables toiles métalliques à mailles assez fines. Pour donner à ces dernières un développement compatible avec la section de passage qu'il convenait de leur donner, et pour disposer, en outre, des écrans *a*, *b* et des chicanes propres à séparer les escarbilles du courant gazeux par différence de densité, on a été conduit à allonger considérablement les boîtes à fumée vers l'avant, comme on le voit sur la figure 11. Cette disposition permet, en outre, de placer à l'avant une *trémie* T passant devant les cylindres ou le massif qui les relie, s'ils sont extérieurs, et qui sert à vider les escarbilles en évitant de salir la machine. Ce genre de boîte à fumée a été adopté pour les dernières express de l'*Ouest*.

Le conduit d'échappement, formé par la réunion des deux

tuyaux venant des cylindres, s'élève verticalement dans la boîte à fumée, suivant l'axe de la cheminée. Il est aplati transversalement, de manière à présenter une faible largeur, afin de ne pas gêner pour le tringlage des tubes. Ce tuyau M (*fig.* 1, Pl. I), appelé aussi *colonne d'échappement*, s'arrête à une hauteur variable dans la boîte à fumée. Autrefois, en France du moins, on faisait pénétrer l'extrémité supérieure de la conduite jusqu'à la base de la cheminée, mais on a reconnu depuis que l'on avait avantage, au point de vue du tirage, à abaisser la tuyère comme on le voit figure 1. Avec les proportions ordinairement adoptées, il semble que l'on obtienne les meilleurs résultatsl orsque le niveau supérieur de la tuyère correspond à la hauteur de la rangée supérieure des tubes. Cependant, à la Compagnie de *Paris-Lyon-Méditerranée*, on préfère placer l'échappement plus haut, comme dans l'ancienne disposition, mais on complète l'installation par l'addition, à l'intérieur de la cheminée et suivant l'axe, d'un noyau creux, en métal, qui épanouit la veine de vapeur.

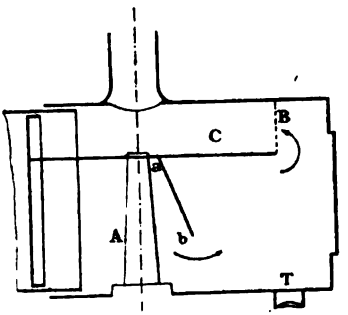


Fig. 11. — Boîte à fumée prolongée.

Dans toutes les machines anglaises ou américaines, dans les nouvelles locomotives de la Compagnie de l'*Ouest*, et dans beaucoup d'autres, les échappements sont à tuyère *fixe*. La tuyère est formée (*fig.* 1, Pl. I) par un petit tronc de cône ou un cylindre, à arêtes coupantes, placé à la partie supérieure de la colonne d'échappement et présentant un diamètre intérieur variant de 100 à 150 millimètres.

Dans la plupart des autres locomotives, l'échappement est, au contraire, *variable*, c'est-à-dire que la tuyère est munie de soupapes réglables, à la main du mécanicien, permettant de faire varier la section de l'orifice d'échappement, afin de proportionner l'activité du tirage aux besoins. En principe,

la variabilité de l'échappement est une bonne chose; mais, dans la pratique, elle n'est pas sans inconvénients. Souvent les mécaniciens serrent trop leur échappement, ce qui crée sur le piston une contre-pression nuisible; d'autre part, il est difficile d'obtenir, avec les soupapes, un jet aussi net, aussi direct qu'avec l'échappement fixe.

Les différentes dispositions adoptées pour permettre la variabilité de l'échappement se rattachent à deux types. Dans le premier type, de beaucoup le plus répandu en France, on place à la partie supérieure de la tuyère deux clapets se faisant vis-à-vis, pouvant tourner autour d'axes horizontaux disposés à leur partie inférieure, et susceptibles de s'écarter ou de se rapprocher sous l'action d'une tringle à portée du mécanicien. Ces soupapes sont comprises entre deux cloisons parallèles placées dans un plan perpendiculaire à leur axe d'oscillation, et qui servent à empêcher le jet de vapeur de s'échapper sur le côté. Ce système présente l'inconvénient de diriger le jet obliquement par rapport à l'axe de la cheminée, si l'entretien des soupapes et de leurs articulations laisse à désirer; en outre, les soupapes n'offrent pas une section circulaire et il vaut mieux que le jet d'échappement ait une section de même forme que la cheminée. Aussi certaines Compagnies préfèrent-elles des échappements variables comportant une soupape conique placée suivant l'axe de la colonne et que l'on monte ou descend parallèlement à elle-même pour changer la section de la tuyère.

L'échappement agissant par entraînement sur les produits de la combustion, on peut espérer augmenter son effet en accroissant la surface de contact entre le jet de vapeur et ses gaz. De là sont nés les échappements annulaires que l'on retrouve sur des locomotives de construction récente des Compagnies du *Nord* et de l'*Ouest* entre autres, et qui constituent le deuxième type. Les gaz se trouvent ainsi en contact avec les surfaces extérieure et intérieure de la veine, dont le diamètre est, en outre, augmenté. Cette disposition permet aussi, en disposant convenablement la base de la tuyère, d'opérer un appel plus énergique des gaz à travers les tubes inférieurs du faisceau de la chaudière, les produits de la combustion tendant toujours à suivre le chemin le plus court et

à prendre, de préférence, les tubes du haut. Aux États-Unis, on obtient le même effet à l'aide des chicanes, que nous avons signalées et que l'on voit sur la figure 11.

Le *souffleur*, qui sert, nous l'avons vu, à activer le tirage lorsque la machine est au repos ou quand elle descend une rampe, le régulateur fermé, et que l'on craint une baisse de la pression, se compose ordinairement d'un petit tuyau se branchant en un point quelconque de la chaudière, le plus souvent sur le dôme, et aboutissant dans la boîte à fumée, à la base de la cheminée, suivant l'axe de laquelle est dirigé le jet. Un robinet, placé à portée du mécanicien, permet de régler le débit ou de le supprimer tout à fait. Pour obtenir un meilleur effet utile, on forme souvent aujourd'hui le souffleur d'une couronne annulaire en bronze ou en laiton percée de petits trous à sa partie supérieure; on le dispose à la partie supérieure de la colonne d'échappement, autour de l'orifice de la tuyère.

22. Grille. — La grille sert à supporter le combustible et à faciliter sa combustion en permettant, par le dessous, l'arrivée de l'air comburant et son contact aussi intime que possible avec la couche de charbon en ignition. Elle doit être appropriée au genre de combustible usité, qui détermine non seulement la surface de grille indispensable pour produire, dans les conditions requises, la vaporisation nécessaire, mais aussi la largeur des barreaux et l'espacement avec lequel ils doivent être montés. En principe, plus le charbon que l'on emploiera sera menu, plus il conviendra de rapprocher les barreaux, pour éviter que le charbon ne vienne à tamiser au travers; et, pour que la section de passage d'air soit suffisante, il faudra augmenter le nombre des intervalles, ce qui revient à diminuer la largeur des barreaux.

Les grilles sont horizontales (*fig.* 10) ou inclinées sur l'avant (*fig.* 1, Pl. I); cette dernière disposition est plus usitée, surtout en France, et pour les machines dans lesquelles on est déjà conduit à incliner, dans le même sens, le cadre du foyer, pour passer au-dessus d'un essieu accouplé passant à l'arrière, sous la boîte à feu. Les grilles horizontales paraissent surtout convenir pour les combustibles très gras et très

riches comme les houilles anglaises ou, au contraire, pour les menus maigres et les anthracites brûlés en couches très minces. Les grilles inclinées donnent d'excellents résultats avec les charbons de qualité ou de grosseur intermédiaires, mais elles conviennent aussi pour les houilles riches ou la briquette, brûlées en couches assez épaisses.

Les barreaux de grille, quand ils sont épais, se font en fer forgé ou en fonte, mais les barreaux minces sont toujours en fer. Les barreaux des grilles des machines de *Paris-Lyon-Méditerranée* et de l'*Ouest* ont une largeur en haut de 10 millimètres, et laissent entre eux un vide de même largeur.

Les barreaux en fonte ou en fer forgé portent à leurs extrémités des bossages d'une saillie égale à la moitié de l'écartement qu'ils doivent laisser entre eux après la pose. Les barreaux minces en fer sont soudés par paquets de deux ou plus, maintenus à l'écartement par des têtes de rivets.

Les barreaux de grille sont supportés (*fig.* 1 et 2, Pl. I) par des sommiers transversaux en fer, eux-mêmes maintenus par des taquets rivés dans le cadre du foyer ; on ménage le jeu nécessaire à leur libre dilatation. Dans les grilles de faible longueur, on peut se contenter d'une rangée de barreaux, que l'on supporte soit à leurs extrémités, soit en des points situés à peu près au tiers de leur longueur. Dans les grilles plus longues, on dispose deux et même trois files de barreaux supportés par des sommiers intermédiaires. A la Compagnie d'*Orléans*, dans les foyers Ten Brinck, on place, dans le plan horizontal, les barreaux de grille en éventail, afin d'augmenter la section de passage d'air vers l'avant, dans la région où l'activité de la combustion est plus considérable.

Aux États-Unis, on brûle souvent les anthracites sur des grilles composées de tubes entre lesquels on dispose des barreaux de grille ordinaires, et communiquant avec les lames d'eau du foyer, espacées de 150 millimètres environ. Cette disposition a pour objet de refroidir les grilles et de faciliter la circulation autour du foyer. Dans le même pays, on emploie, d'une manière absolument générale, les *grilles à secousse*, dont les barreaux sont articulés et réunis par des bielles que commande un levier à la main du chauffeur. On peut ainsi éviter le collage des mâchefers. Ces grilles peuvent

être nécessaires pour certains combustibles, mais elles sont compliquées et fort lourdes.

Dans la très grande majorité des locomotives françaises, on dispose à l'avant de la grille une partie mobile appelée *jette-feu*, qui peut osciller autour d'un axe horizontal, et que le mécanicien peut abaisser à l'aide d'un mouvement à vis. Le but de cet appareil est de faciliter le décrassage et l'enlèvement des mâchefers, que l'on doit autrement faire passer par la porte du foyer, ou dont on se débarrasse en faisant sauter quelques barreaux de grille; mais ce n'est pas là une opération qui puisse s'effectuer pendant un court arrêt. Grâce à la bonne qualité du combustible qu'ils emploient, les Anglais ont pu jusqu'ici se dispenser de l'emploi du jette-feu.

23. Cendrier. — Autrefois, le cendrier n'avait d'autre but que d'éviter la projection des escarbilles et on ne le munissait pas de portes, ni même quelquefois de fond. Dans la locomotive moderne, le cendrier est devenu un organe plus important et plus complexe qui sert à régler le tirage ou à le supprimer totalement pendant les stationnements prolongés.

Le cendrier le plus simple (*fig.* 1 et 2, Pl. I) se compose d'une boîte K en tôle mince, rectangulaire, fixée par des tasseaux démontables au cadre du foyer et descendant à environ $0^{m},20$ du plan supérieur des rails et ouverte à sa partie supérieure qui regarde la grille. Il reçoit les escarbilles qui tombent de cette dernière ; on les en extrait pendant les stationnements et dans les dépôts. Il comporte à l'avant et à l'arrière une porte pleine rectangulaire, pouvant fermer hermétiquement, occupant presque toute la largeur et toute la hauteur, et dont le mécanicien peut régler l'ouverture à l'aide de tringles de commande qui aboutissent sur la plate-forme. On ouvre généralement la porte qui est tournée du côté de la marche. Il est rare qu'il soit nécessaire d'ouvrir cette porte en grand, même pour la marche à toute vitesse avec un train lourd. Un mécanicien qui sait bien se servir des portes de son cendrier trouve en elles un auxiliaire fort utile pour la conduite du feu.

Quand un essieu passe au-dessous du foyer, la forme du cendrier se complique ; ou bien on incurve son fond pour

livrer passage à cet essieu, ou bien ce dernier traverse un étui en tôle rivé sur les côtés du cendrier ; on ménage, au-dessus de l'essieu, un jeu suffisant pour permettre le libre déplacement de la machine sur ses ressorts. Il faut, en tous cas, que cet essieu soit protégé du rayonnement direct du feu ou contre le contact des escarbilles incandescentes.

24. Voûtes en briques. — Nous avons parlé plus haut de l'importance que présentaient les voûtes en briques, tant au point de vue de la bonne utilisation du combustible que pour la protection de la plaque tubulaire. Nous n'y reviendrons donc pas. Il nous suffira de dire que cette voûte, aujourd'hui reconnue, sinon comme indispensable, du moins comme utile pour les foyers qui ne sont pas très plats, se compose de briques réfractaires, souvent en kaolin, soit de petites dimensions et assemblées comme les briques ordinaires de bâtiment, soit de forme appropriée et de grandes dimensions ; trois d'entre elles, reposant sur des sommiers en fer tenus sur les parois intérieures du foyer à l'aide de quelques vis, suffisent alors.

La Compagnie d'*Orléans* préfère, à la voûte en briques, le bouilleur Ten Brinck qui paraît activer la circulation de l'eau autour du foyer et dont la durée est supérieure à celle de la voûte en briques, mais d'un prix d'établissement plus élevé. Toutefois, le bouilleur n'a pas, comme la voûte, l'avantage d'emmagasiner la chaleur et de la rayonner vers la grille, ce qui facilite la combustion des gaz lors des chargements pendant la période de distillation.

25. Timbre. Essai des chaudières. — Jusqu'à l'introduction du système compound, la pression de régime des locomotives ne dépassait que rarement 11 à 12 kilogrammes; encore n'est-ce que depuis peu d'années que l'on avait atteint ces pressions, les timbres de 8 à 9 kilogrammes étant considérés comme suffisants, il y a une quinzaine d'années. Aujourd'hui, on ne construit plus de locomotives dont le timbre soit inférieur à 11 kilogrammes ; lorsque le fonctionnement a lieu suivant le mode compound, on va plus

loin, et on adopte des pressions de 14 kilogrammes (*Nord*) et de 15 kilogrammes (*Paris-Lyon-Méditerranée*).

On ne doit pas croire qu'une machine soit nécessairement plus puissante parce qu'elle est timbrée à une pression plus élevée. La pression n'est qu'un des éléments de la puissance et on peut remédier à son insuffisance par un accroissement convenable du volume des cylindres. Toutefois, l'élévation du timbre permet d'emmagasiner dans la chaudière une plus grande quantité d'énergie calorifique, ce qui peut être utile pour monter une rampe, démarrer un train lourd ou produire momentanément un effort supérieur à la moyenne. En outre, les machines à haute pression sont un peu plus économiques que les autres.

En France, les chaudières sont soumises, avant de quitter les ateliers du constructeur, à un essai réglementaire, opéré en présence du contrôleur des mines, sous une pression hydraulique supérieure de 6 kilogrammes par centimètre carré à la pression marquée par le timbre. Cet essai donne une garantie qui inspire au personnel la confiance voulue et dégage la responsabilité des Compagnies à moins d'imprudence notoire de la part du mécanicien ; la surpression exigée n'est pas suffisante pour entraîner la déformation, ni la fatigue des chaudières.

On fait, en outre, à l'atelier, avant de monter la chaudière sur roues, une épreuve à chaud, à une pression voisine de celle du timbre, ayant pour effet de révéler les fuites légères qui auraient passé inaperçues lors de l'essai à froid.

26. Attache de la chaudière sur le châssis. — La chaudière doit être solidement fixée sur le châssis, mais par des procédés permettant sa libre dilatation, la température des longerons ne dépassant pas celle qui règne au dehors, tandis que la température de la chaudière peut s'élever jusqu'à 200° environ dans les machines récentes timbrées à 14 et 15 kilogrammes. A cet effet, la chaudière est fixée à demeure sur le châssis, à l'avant, au moyen de boulons rattachant la boîte à fumée soit au massif des cylindres, si ces derniers sont intérieurs, soit à l'entretoise qui relie les longerons entre les cylindres, si ceux-ci sont extérieurs. Les autres attaches de

la chaudière sur les longerons la maintiennent transversalement ou verticalement, mais lui permettent de glisser dans le sens longitudinal sous l'action de la dilatation qui se produit vers l'arrière.

Quand les chaudières ne sont pas très longues, on se dispense des supports intermédiaires que l'on jugeait si utiles

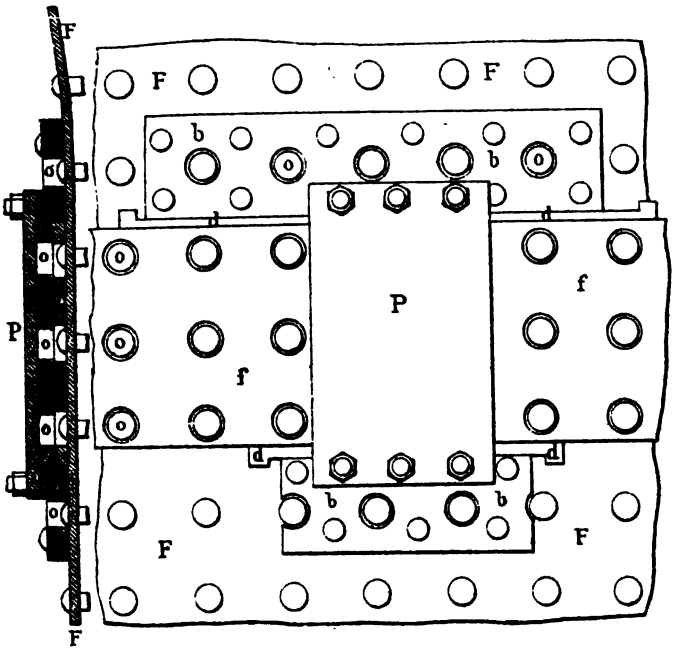


Fig. 12. — Attache de la chaudière sur le châssis.

autrefois et que l'on plaçait sous le corps cylindrique. Le moment d'inertie transversal de la chaudière est bien assez grand pour lui permettre, sans fatigue, de ne reposer que sur ses extrémités.

Vers l'arrière, le foyer repose sur les longerons, de chaque côté, par un support à glissière analogue à celui qui est repré-

senté par la figure 12. La tôle F de la boîte à feu repose, sur chaque longeron, par l'intermédiaire de tasseaux *b* et de glissières *d* en bronze ou en acier, rabotées et réunies deux à deux par une tôle P qui relie transversalement le longeron au foyer et empêche le premier de s'écarter et de s'échapper des supports. Des trous O donnent accès aux entretoises.

27. Corrosions. — Usure des chaudières. — Les chaudières périssent à la longue, par suite de l'action corrosive de l'eau à haute température. Les corrosions se produisent peu à peu soit à l'intérieur, soit à l'extérieur des tôles.

Les *corrosions extérieures* sont faciles à éviter, parce qu'elles sont toujours dues à l'action d'une fuite se produisant soit aux rivets, soit aux pièces, soit aux joints. On doit remédier à ces fuites dès qu'elles se manifestent. La boîte à fumée est la partie où elles se produisent le plus fréquemment et où leur progrès est le plus rapide, parce qu'à l'action de l'eau se joint celle des gaz acides ou sulfureux de la combustion, sans compter celle de la combustion des suies, qui se produit souvent.

Les *corrosions intérieures* sont plus graves, et l'on ne peut y remédier aussi facilement, sans compter que, le plus souvent, rien ne vient les révéler. Elles se produisent, généralement, sous forme de *piqûres* et d'*érosions* locales qui, parfois, atteignent rapidement une profondeur assez considérable. Si le métal constituant la tôle était parfaitement homogène, la diminution d'épaisseur se produirait lentement et régulièrement sur toute leur surface. Cependant, il faut tenir compte des effets mécaniques provoqués par la pression de la vapeur et par la dilatation ou la flexion. Ces dernières agissent surtout en brisant, aux environs des rivures, la couche de tartre qui, partout ailleurs, protège la tôle. L'eau pénètre par la fissure ainsi produite, et vient attaquer le métal.

Les *piqûres* disséminées sur les tôles ne sont dues qu'au manque d'homogénéité du métal.

Pour y remédier, on doit disposer les différentes parties de la chaudière de manière qu'il n'y séjourne pas la plus petite quantité d'eau quand on la vide. A ce point de vue, la dispo-

sition des viroles en télescope est préférable. Quand c'est la virole milieu qui est la plus grande, il y reste toujours une petite quantité d'eau.

On remédie aux corrosions internes par un lavage périodique des chaudières, et par l'épuration et la neutralisation des eaux acides. Si le chômage doit se prolonger, la chaudière devra être complètement asséchée ou même lavée au lait de chaux, ou badigeonnée intérieurement d'une couche d'huile minérale.

Le foyer se détruit plus rapidement que l'enveloppe de la chaudière, même lorsqu'il est en cuivre, à cause de la haute température à laquelle il est soumis et en raison de l'action directe des impuretés contenues dans le combustible, et plus particulièrement du soufre. Aussi doit-on fréquemment vérifier l'état des foyers et remettre des pièces dans les parties avariées.

Le ciel du foyer peut périr aussi par *coup de feu;* lorsque le niveau de l'eau dans la chaudière est plus bas que le ciel, celui-ci rougit, le métal perd de sa ténacité et s'affaisse sous l'action de la pression. Afin d'éviter cet accident, dont les conséquences peuvent être graves, on place sur le ciel du foyer un ou deux *bouchons fusibles* qui cèdent bien avant le ciel. La vapeur, s'échappant par l'ouverture qu'ils présentent, éteint le feu et avertit le mécanicien.

28. Dépôts et incrustations. — Les eaux servant à l'alimentation des chaudières peuvent contenir en suspension des vases ou des matières organiques qui se déposent en boues dans les parties basses des chaudières et dont on se débarrasse facilement par des lavages. Les dépôts dus aux matières minérales contenues à l'état de *dissolution* dans les eaux les plus claires sont bien autrement adhérents et nuisibles. Les deux sels qui sont à la fois les plus abondants et les plus nuisibles sont le carbonate et le sulfate de chaux (craie et pierre à plâtre), solubles à froid dans l'eau, de moins en moins solubles à mesure que la température s'élève et, enfin, insolubles à partir de 135°. La totalité de ces sels dissous dans l'eau se dépose dans la chaudière pour former des dépôts et incrustations plus ou moins adhérents et durs.

Une eau de qualité moyenne contient environ 0gr,28 de matières solides par litre; le poids de ces matières qui se trouve abandonné dans les chaudières est alors de 17 kilogrammes environ par 1.000 kilomètres de parcours. On voit que la nécessité d'opérer de fréquents lavages à l'intérieur des chaudières s'impose d'une manière absolue, sous peine de voir les incrustations s'y accumuler de la façon la plus nuisible.

Le principal inconvénient des incrustations consiste dans la diminution de conductibilité des surfaces de chauffe recouvertes de cet enduit calcaire qui les sépare de l'eau. Il en résulte une moins bonne utilisation du combustible et une usure plus rapide des parties chauffées de la chaudière, les surfaces de chauffe ne transmettant plus suffisamment vite à l'eau le calorique qui leur est fourni par le combustible ou les produits de la combustion ; ces parties s'échauffent beaucoup trop et peuvent s'altérer ou se déformer.

On remédie en partie aux inconvénients que nous venons de rappeler, soit en introduisant dans les chaudières des substances spéciales appelées *désincrustants*, qui n'arrêtent pas les dépôts, mais les empêchent d'adhérer à la tôle et permettent de les évacuer facilement par simple lavage, soit en opérant une épuration préalable des eaux d'alimentation.

Les désincrustants ont une action chimique ou mécanique ou même à la fois chimique et mécanique. Quand ils opèrent par action chimique, ils forment avec le sulfate de chaux un produit qui reste en solution dans l'eau et se trouve rejeté au dehors lorsque l'on vide les chaudières. Quand ils ont une action mécanique, ils viennent se mélanger intimement aux dépôts solides et empêchent leur adhérence sur les parois de la chaudière; ces dépôts tombent en boue au fond des chaudières.

La plupart des désincrustants sont à base de quebracho ou de campêche, avec addition de soude caustique ou de carbonate de soude. On en verse de 2 à 3 litres par jour dans le tender.

La Compagnie de *Paris-Lyon-Méditerranée* ne fait pas usage de désincrustants à proprement parler : elle se contente d'additionner, dans les caisses du tender, quand les eaux

sont très chargées de sulfate de chaux, du carbonate de soude en poids égal à celui du sulfate contenu dans le volume d'eau considéré. De fréquents lavages intérieurs des chaudières complètent cette action.

Les désincrustants ont l'inconvénient de donner fréquemment lieu à des ébullitions et entraînements d'eau dans les chaudières ; ils agissent comme les matières grasses. On n'en fait pas usage en Angleterre où certainement, bien que les chaudières soient plus petites et plus forcées que sur le continent européen, les ébullitions sont beaucoup plus rares.

Ce procédé permet de réduire dans une grande proportion la quantité de matières solides contenues dans les eaux d'alimentation ; il fonctionne avec succès dans certains dépôts de la Compagnie du *Nord*. L'épuration préalable est surtout avantageuse pour le traitement des eaux très chargées ; il est un peu coûteux pour les eaux assez pures.

Dans l'épuration préalable, on vient précipiter, par une réaction chimique, les sels dissous dans l'eau avant son entrée dans la chaudière.

29. Appareils de sûreté et accessoires des chaudières. — Les chaudières des locomotives sont munies d'appareils de sûreté destinés à vérifier à tout instant le niveau qu'occupe l'eau à leur intérieur et la pression qui y règne, enfin à empêcher cette pression de dépasser la limite indiquée par le timbre. Ce sont les *indicateurs de niveau*, les *manomètres* et les *soupapes de sûreté*.

Ces chaudières comportent, en outre, des *autoclaves*, des *bouchons de lavage* et de *visite* et des *robinets de vidange*.

30. Indicateurs de niveau. — Nous avons vu plus haut combien il importait que le niveau de l'eau, dans la chaudière, ne descende pas au-dessous du ciel du foyer, ce qui occasionnerait des coups de feu et des affaissements de ce ciel pouvant être suivis d'accidents graves auxquels, du reste, les plombs fusibles ont pour but de parer. Si, d'autre part, le niveau est trop élevé, on risque d'avoir de fréquents entraînements, l'eau étant projetée par l'ébullition dans les ouvertures du régulateur.

La hauteur de l'eau dans la chaudière peut être vérifiée à tout instant par le mécanicien ou le chauffeur, à l'aide de l'*indicateur de niveau*, composé d'un tube en verre réuni par deux tubulures au fond postérieur de la chaudière et dans lequel le niveau s'établit, comme dans le générateur, d'après le principe des vases communiquants (*fig.* 13). Deux robinets permettent de fermer les tubulures au cas où, le tube venant à casser, l'eau et la vapeur seraient projetées au dehors. Il est bon que ces deux robinets soient reliés par une bielle, afin qu'on puisse les fermer tous deux en même temps, d'un seul coup. Pour éviter, en cas de rupture d'un tube, que les agents ne soient brûlés par l'eau chaude ou la vapeur, les robinets de niveau des locomotives de la Compagnie de l'*Ouest* sont disposés de manière à être manœuvrés à quelque distance; la tige de commande de leur clé se prolonge du côté du mécanicien et porte à son extrémité une petite manette.

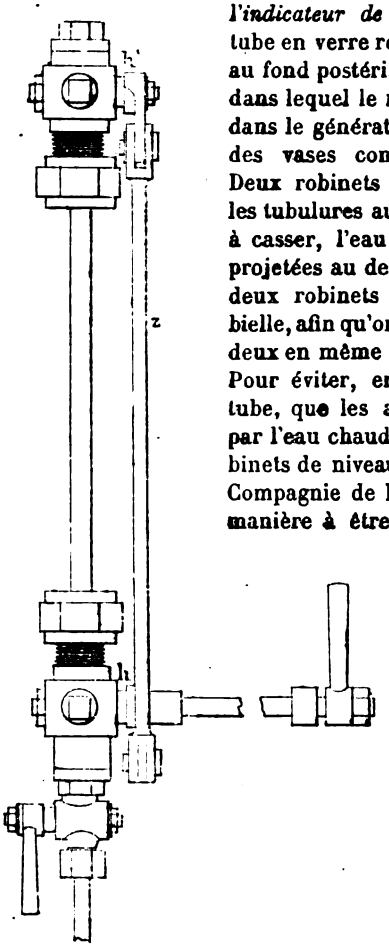


Fig. 13. — Tube de niveau.

Les tubes doivent être en verre épais ou en cristal, bien recuits, et montés de manière à jouir, dans leur garniture, d'une sorte de liberté. L'étanchéité est généralement assurée par des rondelles en caoutchouc.

Il est bon, quand on le peut, de disposer, sur l'arrière de

la boîte à feu, deux tubes de niveau semblables, qui se contrôlent mutuellement, l'un d'entre eux pouvant, en outre, servir de rechange quand l'autre tube vient à se briser en route. Cette pratique, assez générale en Angleterre, n'est que rarement suivie sur le continent européen, où l'on préfère remplacer le second tube par trois robinets de jauge convenablement placés. Avec un bon niveau, le robinet supérieur ne doit donner que de la vapeur; le robinet du milieu, un mélange d'eau et de vapeur; et le robinet inférieur, de l'eau seulement. Si ce dernier ne donne que de la vapeur, le niveau est trop bas. Toutefois, les indications que donnent ces robinets sont incertaines et difficiles parfois à interpréter, l'eau se réduisant en vapeur dès qu'elle se trouve à l'air libre. Beaucoup de locomotives américaines, cependant, n'ont pas de tube de niveau; le personnel doit se contenter des indications des robinets de jauge.

Le niveau des chaudières est soumis, en marche, à des dénivellations continuelles dues à l'inclinaison que prennent les machines, sous l'influence des variations du profil ou des mouvements de tangage, soit surtout à la vaporisation inégale, et aux gonflements ou aux contractions résultant de la dépense inégale de vapeur. Le niveau s'élève dès que le régulateur est ouvert, parce que l'eau est soulevée par les bulles de vapeur qui se dégagent; il s'abaisse notablement dès que l'on supprime l'accès de la vapeur aux cylindres.

En général, en France, la limite inférieure du niveau de l'eau, marquée sur la face arrière de la boîte à feu, est à $0^m,10$ au-dessus du ciel, la machine étant supposée en palier. La monture inférieure des indicateurs de niveau porte une bague masquant le tube jusqu'à cette hauteur, ce qui est une garantie contre la négligence des mécaniciens; avec cette disposition ces derniers sont moins exposés à marcher avec un niveau trop bas, et ils surveillent leur alimentation dès que le niveau disparaît à leurs yeux.

31. Manomètres. — Le manomètre est un indicateur de pression; il renseigne à tout instant les agents du service de la tension que possède la vapeur à l'intérieur de la chaudière.

Le manomètre ordinairement usité est le manomètre métallique de *Bourdon*, qui se compose essentiellement d'un tube de section elliptique, recourbé, fermé à son extrémité libre, qui agit sur une aiguille se mouvant sur un cadran gradué en kilogrammes par centimètre carré. L'autre extrémité du tube communique avec la chaudière. Le tube se redresse d'autant plus que la pression est plus grande, et son aiguille donne l'indication demandée. Un trait rouge, placé sur le cadran, correspond à la pression limite indiquée par le timbre. Ces manomètres sont gradués et vérifiés au moyen de *manomètres-étalons*, eux-mêmes gradués d'après des manomètres à mercure.

32. Soupapes de sûreté. — Les indications du manomètre ne sont pas suffisantes au point de vue de la sécurité, d'autant plus que, si la pression venait à monter trop rapidement, le mécanicien ne saurait parfois comment se débarrasser du trop-plein de vapeur. La soupape de sûreté remplit le but d'une manière automatique et sûre. Elle constitue en même temps un manomètre à maximum, avertissant le personnel que la pression limite est sur le point d'être dépassée.

D'après le décret du 25 janvier 1865, chaque chaudière de locomotive doit être munie de deux soupapes de sûreté, chargées de manière à laisser la vapeur s'écouler avant que la pression atteigne ou, tout au moins, dès qu'elle a atteint la limite maximum indiquée par le timbre.

Chacun de ces appareils se compose essentiellement d'une soupape en bronze tournée et dressée, s'appliquant sur un orifice circulaire de la chaudière et formant, lorsqu'elle repose sur son siège, un joint étanche et parfaitement rodé. Cette soupape est chargée d'un poids égal à celui qu'elle supporte de bas en haut sous l'action de la vapeur, lorsque la pression intérieure est égale à la tension limite du timbre, c'est-à-dire d'un poids égal, en kilogrammes, au produit de la pression limite par la surface libre de la soupape exprimée en centimètres carrés. Dans les chaudières fixes, cette charge est obtenue à l'aide d'un poids. A cause des trépidations, dans les locomotives, on est obligé d'employer des ressorts. Autrefois, presque toutes les soupapes de locomotives, mon-

tées dans une cuvette placée à l'arrière, au-dessus de la boîte à feu ou sur le dôme, étaient à balance, et ce système est encore employé par beaucoup d'administrations. Dans ce système, un levier, articulé par une extrémité, était pressé à l'autre, de haut en bas, par un ressort à boudin réglable. Ce levier s'appuyait sur la soupape, par l'intermédiaire d'une sorte de couteau, en un point très rapproché de son articulation. La force du ressort est donc multipliée par le rapport des bras de leviers.

Le ressort est placé dans une enveloppe en laiton et porte une aiguille indiquant la pression correspondant à tout serrage donné, sur une échelle graduée gravée sur la boîte, à l'extérieur. Le plus souvent, les deux soupapes sont placées l'une contre l'autre, et leurs leviers, comme leurs ressorts, sont disposés parallèlement. Dans certains cas, on préfère placer une soupape sur le dôme, et l'autre sur l'arrière.

Depuis quelques années, on semble préférer la soupape à charge directe, uniquement employée aux États-Unis et de beaucoup la plus répandue en Angleterre et en Allemagne. Elle est maintenant adoptée par les Compagnies françaises de l'*Ouest*, du *Nord*, de l'*Est* et d'*Orléans*. La Compagnie *Paris-Lyon-Méditerranée* préfère les soupapes à balance et dispose, à la base des ressorts, une vis de réglage et un volant de manœuvre qui permet d'opérer un desserrage facile pendant les stationnements.

La soupape à charge directe la plus répandue en Angleterre est du système *Ramsbotton* (*fig.* 14). Les soupapes sont placées à la partie supérieure de deux colonnettes spéciales, venues de fonte avec une embase qui se boulonne sur la cheminée; le ressort est placé entre ces deux colonnettes; il agit sur un levier qui reporte sa pression sur deux soupapes, à l'aide de couteaux ou de pointes arrondies. Le levier se prolonge sur l'arrière et forme une manette sur laquelle le mécanicien peut agir pour soulever une des soupapes; comme il exerce une pression plus grande sur l'autre soupape, soit qu'il lève ce levier, soit qu'il l'abaisse, ce système ne permet pas de caler les soupapes. C'est là son principal avantage. Ces soupapes sont, en outre, peu encombrantes et d'exécution peu dispendieuse. La Compagnie de l'*Ouest* a adopté un type

analogue, offrant sur le précédent l'avantage que le ressort est disposé de manière à travailler par compression, de sorte que les soupapes ne se trouvent pas projetées en cas de rupture du ressort.

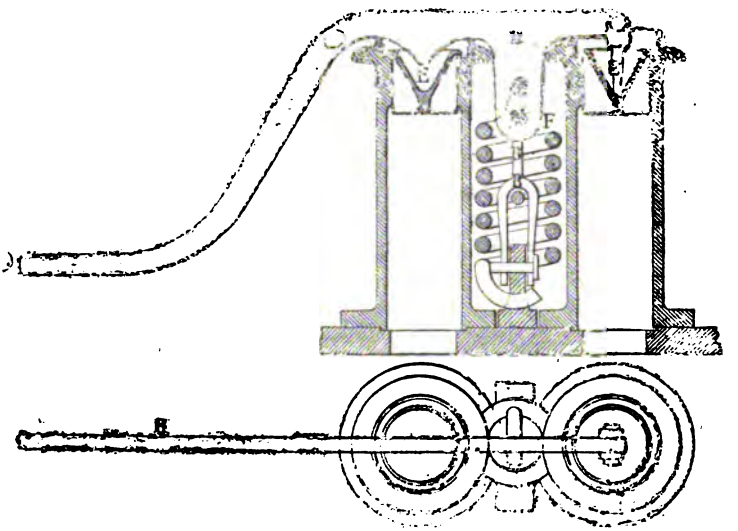


Fig. 14. — Soupapes Ramsbotton.

La Compagnie de l'*Est* emploie des soupapes chargées directement par un ressort qui s'appuie directement sur elles et repose, vers le haut, sur une traverse supportée par deux colonnes. L'appareil est disposé de manière à se régler facilement à l'atelier, mais, comme les soupapes Ramsbotton et ses dérivées, il n'offre aucun moyen de réglage, et, par conséquent, de calage, une fois la machine en service.

Quant à la soupape proprement dite, elle a subi, depuis quelques années, un important perfectionnement. La soupape à disque du type ordinaire, dès qu'elle est levée d'une très petite quantité sous l'action d'un excès de pression, s'arrête dans son mouvement et ne présente pas une section de passage assez grande pour débiter toute la vapeur produite. Dans la soupape *Adams*, on dispose une gorge annulaire

entourant la partie qui repose sur le siège. Dès que la soupape se lève, la vapeur vient agir sur cette zone annulaire et soulève davantage la soupape. Ces appareils débitent beaucoup plus que les anciennes soupapes à disque et peuvent avoir un diamètre plus faible. Quand elles sont bien réglées, elles doivent retomber sur leur siège dès que la pression dans la chaudière n'est supérieure à celle du timbre que d'un quart d'atmosphère.

La Compagnie de *Lyon* emploie un système analogue, qui permet de débiter à peu près toute la vapeur qui serait produite par la chaudière à son maximum de production.

33. Robinet de vidange. Autoclaves. — On dispose, dans toutes les locomotives, au point le plus bas de la chaudière, c'est-à-dire immédiatement au-dessus du cadre du foyer, un gros robinet de vidange dont la poignée aboutit souvent sur la plate-forme, à portée du mécanicien. Ce robinet, comme l'indique son nom, sert à vider la chaudière, quand la machine rentre définitivement au dépôt et doit subir un lavage ou une réparation.

On dispose, en outre, des bouchons autoclaves de lavage, au-dessus du cadre, aux quatre coins du foyer, sur la plaque tubulaire avant, aussi bas que possible et parfois sur les côtés de la boîte à feu, à la hauteur du ciel. Les orifices de ces bouchons servent à introduire, pour le lavage intérieur, des lances injectant l'eau sous pression ou des racloirs servant à frotter les surfaces de chauffe et à faire tomber les dépôts adhérents.

34. Enveloppes des chaudières. — La perte de calorique par rayonnement extérieur des chaudières locomotives exposées à la pluie, au courant d'air violent créé par la vitesse, serait considérable, si on ne prenait la précaution de les recouvrir d'une enveloppe isolante qui améliore, en outre, l'aspect extérieur de la machine.

On se contente le plus souvent d'une enveloppe en tôle mince maintenue à quelque distance de la chaudière par une carcasse en cornières (*fig.* 1, Pl. I). Le matelas d'air interposé entre la chaudière et son enveloppe forme une chemise

isolante qui réduit dans une proportion considérable les pertes par rayonnement. A l'étranger, particulièrement en Angleterre et aux Etats-Unis, on ne se contente pas de ce matelas d'air. On interpose, entre les deux enveloppes, soit des douves jointives en bois, soit un mastic calorifuge.

Ces tôles d'enveloppe se font ordinairement en acier très mince; toutefois, deux Compagnies françaises, celles de *Paris-Lyon-Méditerranée* et d'*Orléans*, préfèrent le laiton. La première le peint; la seconde le laisse poli.

Les tôles constituant l'enveloppe doivent être planées ou cintrées avec le plus grand soin, de manière à présenter un aspect satisfaisant et à ne donner lieu à aucun jeu de lumière. Les parties arrondies sont embouties avec soin. Les joints sont dissimulés par des cercles, en fer ou en laiton, serrés à l'aide d'une vis placée sous la chaudière et servant, en outre, à maintenir le tout. L'enveloppe doit être peinte avec d'autant plus de soin que la chaleur a une action nuisible sur les peintures. La série d'opérations pour cette peinture est généralement la suivante : un nettoyage à l'essence, une couche de vernis coupé à l'essence, une couche de gris, deux couches de teintes, une couche de vernis à polir, un polissage, un réchampissage, une couche de vernis à finir.

La peinture des locomotives est une opération assez coûteuse dont certaines Compagnies cherchent à se dispenser. La Compagnie d'*Orléans*, nous l'avons déjà dit, ne recouvre d'aucune peinture les enveloppes en laiton des chaudières de ses locomotives. Aux États-Unis, on emploie d'une manière absolument générale les tôles russes, qui sont oxydées et brunies. Ce procédé est également employé en Suisse et dans quelques autres pays. La couche d'oxyde qui recouvre ces tôles se détachant lorsqu'on les cintre sur un petit rayon, on ne peut employer ce genre d'enveloppe pour les parties embouties, les arrondis du foyer, le dôme, etc. On emploie des tôles d'acier ordinaire que l'on peint. Les tôles russes sont d'un aspect assez satisfaisant quand elles sont neuves, mais elles se rouillent à l'humidité, si on ne prend pas la précaution de les enduire de suif, et de les entretenir avec soin.

35. Alimentation. — On maintient le niveau de l'eau dans la chaudière en l'y refoulant à l'aide de *pompes alimentaires* ou d'*injecteurs*. Les premières ont, depuis 1860, à peu près complètement cédé la place aux seconds, dont l'invention est due à notre compatriote H. Giffard. Quelques Compagnies étrangères, en Angleterre notamment, ont conservé l'usage des pompes, parce qu'elles réchauffent l'eau du tender par une dérivation de la vapeur d'échappement, et que cette eau est à une trop haute température pour que l'injecteur puisse l'aspirer.

36. Injecteurs. — Aucun appareil n'a subi dans sa forme et dans ses proportions plus de modifications que l'injecteur, chaque Compagnie ayant un ou plusieurs modèles modifiés suivant ses besoins ou suivant les idées de ses ingénieurs, mais le principe du fonctionnement est toujours le même. C'est la condensation du jet de vapeur, au contact de l'eau d'alimentation, qui permet à sa masse subitement contractée, de donner au mélange l'impulsion nécessaire pour établir le courant vers la chaudière, alors que la vapeur motrice sort de la même chaudière. On comprend donc que l'injecteur fonctionnera d'autant mieux que la température de l'eau qu'il aspire est moins élevée. Avec les injecteurs ordinaires, cette température ne doit guère dépasser 45°; avec les injecteurs perfectionnés, comportant de nombreux cônes d'aspiration et des surfaces de contact étendues, on peut alimenter vers 10 à 12 atmosphères avec de l'eau à 55 ou 60°.

L'injecteur est un appareil d'un excellent rendement mécanique, le calorique non transformé en énergie mécanique se retrouvant dans l'eau d'alimentation qui est notablement échauffée. Cet appareil ne comporte guère qu'une perte de 10 à 15 0/0 par rayonnement extérieur.

Les injecteurs se divisent en deux grandes classes, suivant qu'ils sont *aspirants* ou *non aspirants;* on les fait verticaux ou horizontaux ; ces derniers sont de beaucoup les plus employés.

En France, on emploie un assez grand nombre d'injecteurs différents. Les Compagnies de *Paris-Lyon-Méditerranée* et de l'*Est* ont longtemps employé des injecteurs fort peu différents du type primitif de *Giffard*, et la Compagnie de l'*Ouest*,

l'injecteur *Turck*. Plus tard, les Compagnies de l'*Est* et de l'*Ouest* ont employé l'injecteur *Friedmann*. Toutes ces Compagnies appliquent aujourd'hui, sur une grande échelle, les injecteurs du type américain de *Sellers*, qui est un instrument des plus commodes et particulièrement approprié à l'emploi des hautes pressions de 12 à 15 atmosphères, aujourd'hui courantes, et auxquelles les injecteurs des anciens types fonctionnaient mal ou ne fonctionnaient pas du tout.

La Compagnie du *Nord* employait le *Friedmann* pour ses anciennes express, mais elle leur a substitué le *Sellers* pour ses récentes compound timbrées à 14 kilogrammes.

La Compagnie d'*Orléans* a d'abord employé l'injecteur *Bouvret*, puis l'injecteur *Polonceau*.

Dans l'*injecteur Friedmann* (*fig.* 15), la vapeur arrive par *b*, et l'eau par *a*; le mélange se fait dans une cheminée *o* qui précède l'ajutage convergent *c*; cela multiplie les surfaces de contact entre la vapeur et l'eau. L'ajutage divergent est en *d*; le clapet de refoulement, en *r*; le trop-plein, en P. Cet injecteur n'est pas aspirant; on doit placer son axe un peu au-dessous du niveau le plus bas de l'eau, dans les caisses du tender.

Pour alimenter à l'eau froide, on ouvre le robinet d'admission de l'eau, ou encore le trop-plein P, puis, pendant quelques instants, la prise de vapeur ; on referme cette dernière pour la rouvrir presque aussitôt en entier ; s'il s'écoule encore de l'eau par le trop-plein, on règle l'admission de l'eau par la soupape jusqu'à ce que cet écoulement cesse.

Pour arrêter le fonctionnement, on ferme la prise de vapeur, puis le trop-plein, et on laisse ouvert le robinet d'aspiration.

L'*injecteur Giffard* de la Compagnie *Paris-Lyon-Méditerranée* est monté sur un très grand nombre de machines de cette Compagnie, à l'exception, toutefois, des récentes compound. Il constitue un bon système d'injecteur Giffard à *aiguille*, du type aspirant.

Cet injecteur est vertical (*fig.* 16). La vapeur arrive de la chaudière par le tuyau V, dans la tuyère *t* qui en règle le débit ; l'eau aspirée par *a* se mêle à la vapeur dans l'ajutage convergent C et par les trous *c* et *d* ; le mélange d'eau, d'air et de vapeur condensée, pénètre dans la chaudière par

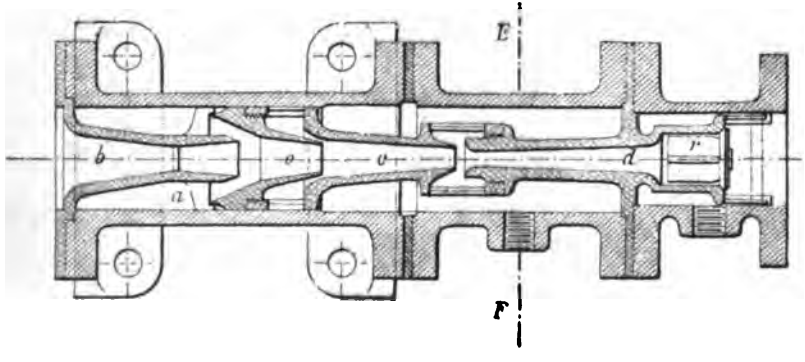
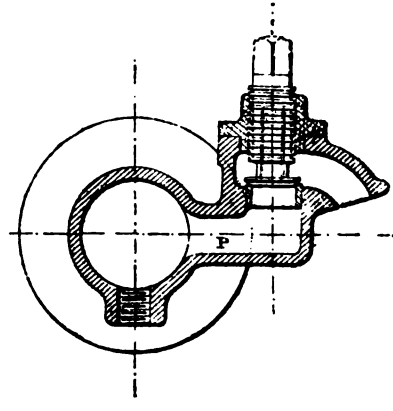


Fig. 15. — Injecteur Friedmann.



Coupe EF.

le tuyau de refoulement *r*, à travers les trous D de l'ajutage

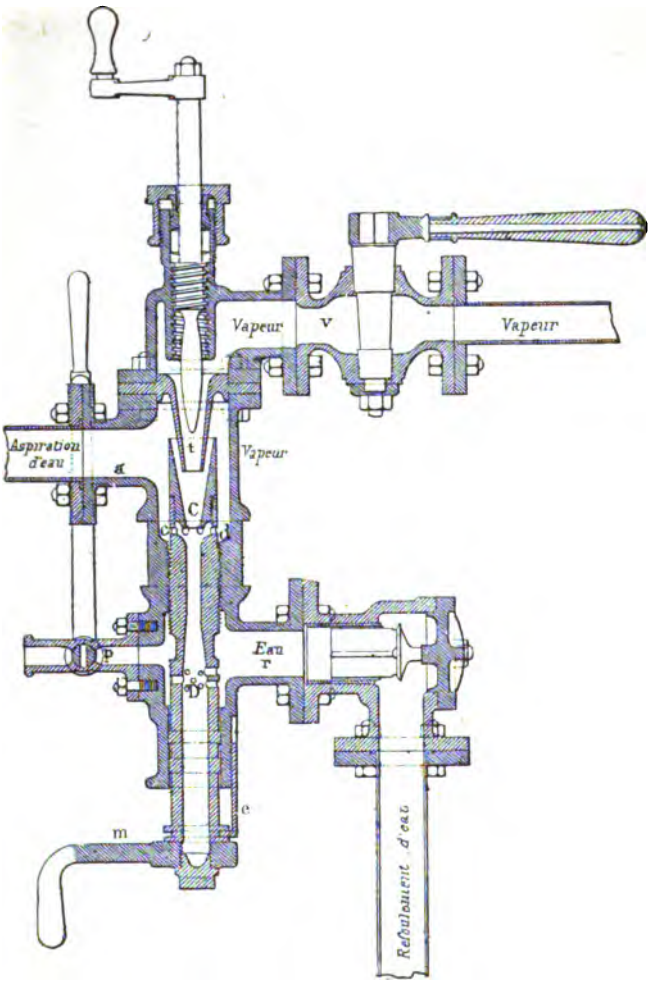


Fig. 16. — Injecteur Giffard.

divergent; la position de ce dernier et, par suite, celle de

l'ajutage C se règlent au moyen d'une manette à échelle graduée. Le robinet de purge ou de trop-plein, P, sert à purger l'appareil pendant l'amorçage, en mettant le jet en communication avec l'atmosphère.

La Compagnie d'*Orléans*, qui était restée longtemps fidèle aux pompes alimentaires, comme présentant certains avantages, notamment en ce qu'elles permettent, pendant la descente des pentes, d'utiliser l'inertie du train pour introduire l'eau dans la chaudière, a dû elle-même, à la suite de l'augmentation successive des vitesses et des pressions, renoncer à l'emploi des pompes alimentaires, dont l'entretien devenait très coûteux. Elle a renoncé également à l'ancien type d'injecteur qu'elle employait concurremment aux pompes, pour adopter l'injecteur du système *E. Polonceau*. Cet appareil peut alimenter à des pressions variant de 3 à 14 kilogrammes, avec de l'eau réchauffée à 55°.

Le cône d'arrivée d'eau présente une section fixe, et la section du cône d'arrivée de vapeur peut être modifiée par une aiguille conique allongée et forée en son centre pour laisser passer la vapeur dès l'ouverture du robinet et commencer à amorcer l'injecteur par un mince filet. L'aiguille est mise en mouvement par un levier qui permet de modifier sa position longitudinale ; le serrage du presse-étoupes qu'elle traverse suffit à la maintenir. Le clapet de retenue est disposé horizontalement, afin de diminuer le nombre des coudes, et sa face inférieure est taillée en forme de cône allongé pour diminuer la résistance.

Cet injecteur est aspirant ; il se monte horizontalement un peu au-dessus de la plate-forme du mécanicien.

L'*injecteur Sellers* (*fig.* 17), employé depuis peu par les Compagnies de l'*Ouest*, du *Nord*, de l'*Est* et de *Paris-Lyon-Méditerranée*, pour un certain nombre de leurs machines, est un appareil aspirant, de manœuvre très commode et dit à *réamorçage automatique*. Les mécaniciens qui ont encore présentes à l'esprit les difficultés qu'offrait souvent l'amorçage des injecteurs Friedmann, lorsque la pression dépassait 9 à 10 kilogrammes, apprécient beaucoup ce nouvel injecteur qui ne rate jamais. Dans cet appareil, la vapeur sort par une tuyère et par une zone annulaire concentrique et exté-

rieure à cette tuyère. Une soupape, commandée par un levier à la main des agents du service, bouche la tuyère lorsqu'elle est à fond de course vers l'avant, comme, par exemple,

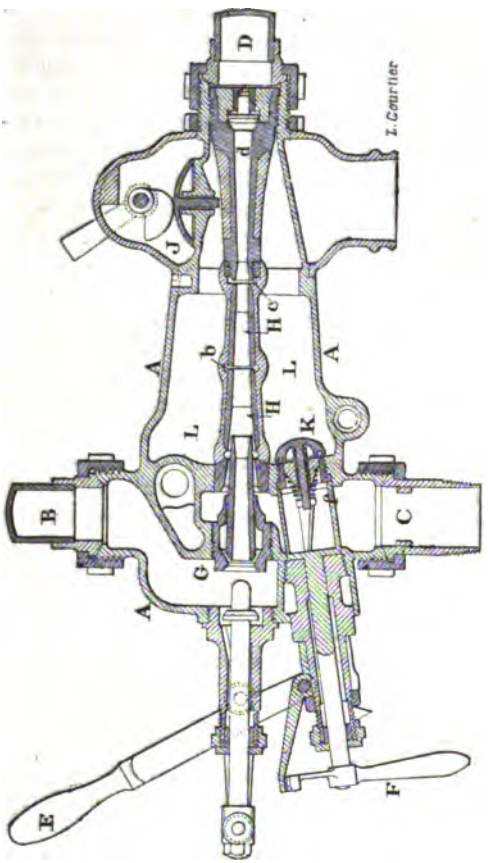


Fig. 17. — Injecteur Sellers.

pour l'amorçage. La vapeur ne passe alors que dans la zone annulaire et produit l'aspiration de l'air, puis de l'eau. Une fois l'aspiration bien établie, on ouvre la soupape, et l'appa-

reil se met en fonctionnement normal. On règle l'aspiration de l'eau par une soupape à vis. Cet appareil fonctionne très bien, jusqu'à la pression de 15 kilogrammes, la plus élevée qui ait encore été adoptée pour les locomotives.

On munit toujours les locomotives de deux injecteurs, le second de ces appareils étant nécessaire comme rechange en cas d'avarie survenue au premier ou pour lui venir en aide lors d'une dépense accidentellement très grande d'eau, comme par exemple une fuite à la chaudière; ordinairement, on donne à ces deux injecteurs des calibres très différents; l'un d'eux a un diamètre à la tuyère de 5 à 6 millimètres, par exemple; l'autre, un diamètre de 9 millimètres; le premier sert à opérer, autant que possible, une alimentation continue, lorsque la machine est en marche et que la dépense de vapeur est sensiblement constante. Les injecteurs Sellers, qui sont très facilement réglables, permettent avec avantage une telle conduite de l'alimentation. Le gros injecteur sert comme rechange en cas d'avarie et permet de faire le plein de la chaudière lorsque, pour une cause quelconque, le niveau de l'eau est descendu trop bas, ou d'opérer rapidement un surcroît d'alimentation, si la pression tend à monter et si les soupapes perdent, le niveau étant peu élevé. Ce gros injecteur est également très utile sur un profil difficile pour opérer une alimentation discontinue; on cesse d'alimenter en montant les rampes et on rétablit le niveau pendant la descente ou en palier.

37. Tuyautage d'alimentation. — Les injecteurs comportent: un tuyautage d'arrivée de vapeur, un tuyautage d'aspiration et un tuyautage de refoulement, sans compter celui de la purge.

Les injecteurs se placent presque toujours sur les côtés de la boîte à feu ou un peu en arrière, sur les couvre-roues dans les machines ayant un essieu accouplé derrière le foyer (compound du *Nord*, machines à bogie de l'*Ouest*). La prise de vapeur se fait sur une colonnette spéciale dont nous reparlerons plus loin et qui sert à toutes les prises auxiliaires. Le tuyau de vapeur comporte un robinet, placé à sa naissance sur la chaudière, permettant de fermer toute issue

à la vapeur au cas où ce tuyau viendrait à crever ; un autre robinet, plus accessible et facilement manœuvrable, est placé sur l'injecteur.

Les injecteurs aspirent dans les caisses du tender ou de la machine suivant que celle-ci est ou non à tender séparé. Dans les machines-tenders, ce tuyautage est entièrement rigide et ne diffère en rien du tuyautage de vapeur ou de refoulement, si ce n'est que l'épaisseur des parois des tuyaux peut être moins grande. Dans les machines à tender séparé, il est nécessaire d'établir, entre l'appareil d'alimentation et la prise sur la caisse, une liaison à la fois étanche et flexible, permettant les déplacements relatifs des deux véhicules pendant la marche.

Cet accouplement élastique s'opère soit par des tuyaux entièrement métalliques, mais présentant une pièce intermédiaire, susceptible de glisser à frottement doux dans les deux parties qui la reçoivent, solidaires, l'une du tender, et l'autre de la machine, à l'aide de rotules garnies de caoutchouc assurant l'étanchéité. On préfère généralement établir la liaison entre le tuyautage de la machine et celui du tender au moyen d'un tuyau flexible en caoutchouc et toile, armé par un fil de fer ou d'acier roulé en hélice. L'accouplement s'opère à l'aide d'un mandrin à vis que l'on serre à bloc. Ce système assure mieux l'étanchéité que le précédent, et c'est un avantage important, car une fuite à cet accouplement peut ou amener une perte d'eau considérable, quand l'injecteur ne fonctionne pas, si la soupape de prise d'eau sur le tender reste ouverte, ou des rentrées d'air qui peuvent gêner considérablement l'aspiration et l'amorçage de l'injecteur.

Le tuyautage de refoulement doit être aussi direct que possible et ne comporter, en tous cas, que des coudes arrondis suivant un aussi grand diamètre que possible, afin de ne pas créer de pertes de charges nuisibles. Chacun des tuyaux de refoulement aboutit, sur la chaudière, à une chapelle en bronze, boulonnée au corps cylindrique et contenant un clapet que la pression de la vapeur applique sur son siège quand l'alimentation ne fonctionne pas ; le courant sortant des injecteurs doit soulever cette soupape avant de pénétrer dans la chaudière. Le but de ce clapet est de fermer automatique-

ment le tuyau de refoulement de l'injecteur, dès qu'une rupture vient à y déterminer une fuite importante ; sans lui, la chaudière pourrait se vider. Ce clapet doit être assez étanche pour permettre, sans qu'il se manifeste de fuites, le démontage du tuyau de refoulement de l'injecteur, la chaudière étant sous pression. Toutefois, on ajoute, pour plus de sécurité, entre le clapet et la chaudière, un robinet à boisseau ou à vis, dont la fermeture assure une étanchéité complète.

Le tuyautage d'alimentation est toujours en cuivre rouge.

L'emplacement auquel aboutit le tuyau de refoulement sur la chaudière n'est pas indifférent. L'eau d'alimentation doit, autant que possible, arriver dans la chaudière à l'endroit le moins chaud, afin de ménager les tôles et les tubes; aussi la chapelle d'alimentation est-elle généralement placée à l'avant du corps cylindrique.

Dans beaucoup de machines anglaises et dans certaines locomotives du *Nord*, cependant, les chapelles sont situées sur la face arrière de la boîte à feu, sous l'œil du mécanicien, mais alors le tuyau d'alimentation se prolonge intérieurement vers l'avant, et l'eau s'y trouve peu à peu réchauffée avant d'être déversée dans la chaudière et de venir en contact avec les tôles et les tubes. En outre, une grande partie des dépôts se fait dans ce tube, qui doit être démonté et nettoyé souvent.

38. Colonnettes de prise de vapeur. — Il importe de ne percer sur les chaudières que le nombre minimum de trous, ceux-ci étant une cause d'affaiblissement et pouvant déterminer des points de rupture et de déchirement. C'est ce que certaines administrations cherchent à éviter en groupant toutes les prises de vapeurs auxiliaires : injecteurs, manomètre, sifflet, petit-cheval du frein, sablière à vapeur, sur une colonnette métallique communiquant avec la chaudière par une seule ouverture. On peut citer comme modèle la colonnette adoptée par la Compagnie de l'*Ouest* pour toutes ses machines de construction récente et qui se place sur la boîte à feu, entre la face avant de l'abri et l'arrière de la chaudière. Cette colonnette, en bronze et de forme

très simple, comporte six tubulures utilisées pour les diverses prises de vapeur énumérées plus haut. Elle est boulonnée sur la chaudière par un pied circulaire. Toutes ses parties sont cylindriques, afin de présenter une forme plus rationnelle en vue de la résistance à la pression intérieure.

CHAPITRE III

LE MÉCANISME

39. Dans un chapitre préliminaire, nous avons résumé les principes du fonctionnement des machines à vapeur et de l'action de la vapeur dans les cylindres. Il ne nous reste qu'à examiner le mécanisme de la locomotive au point de vue pratique, le mode de construction des principaux organes et leur groupement relatif.

Le mécanisme de la locomotive comprend les cylindres et leurs pistons avec leurs tiges, les crosses de tiges de piston et les glissières, les bielles motrices et d'accouplement, les tiroirs, barres d'excentriques, coulisses et appareil de relevage. Il se compose, en un mot, de tous les organes propres à la transformation, en énergie mécanique, du calorique contenu dans la vapeur d'eau, ces organes devant communiquer aux roues un mouvement de rotation et assurer le bon fonctionnement de l'ensemble en permettant une action aussi régulière et aussi continue que possible de la vapeur.

Les cylindres sont ordinairement situés à l'avant et actionnent directement un des essieux placés sous le corps cylindrique; mais, dans quelques machines dérivées du type Crampton, telles que les express de la Compagnie de l'*Est*, les cylindres se trouvent vers le milieu de la machine, et l'essieu moteur est à l'extrême arrière.

Dans les locomotives non compound, les cylindres sont toujours au nombre de deux et commandent invariablement des manivelles calées à 90°. De la sorte, l'effort moteur est aussi constant que possible et, à moins que les tiroirs n'aient un recouvrement exagéré, la machine peut toujours démar-

rer dans toutes les positions qu'occupent les manivelles. Dans les machines compound, le nombre des cylindres peut varier de deux à quatre; ils peuvent commander le même essieu ou deux essieux différents. Les cylindres sont placés à l'intérieur ou à l'extérieur des longerons; dans le premier cas, ils actionnent un essieu coudé; dans le second, ils commandent chacun un bouton calé à la partie extérieure de la roue dont les bras et le moyeu remplacent alors la manivelle.

La position à donner aux cylindres, à l'extérieur ou à l'intérieur des longerons, a donné lieu à d'interminables controverses qui peuvent se résumer en quelques lignes. Chaque système a, en somme, ses avantages, et l'un ou l'autre des deux l'emporte, suivant que l'ingénieur chargé de l'étude attribue plus d'importance à tel ou tel de ces avantages.

Ainsi, les cylindres intérieurs sont plus favorables à la stabilité transversale de la locomotive, parce que les organes, animés du mouvement alternatif, étant plus rapprochés de l'axe médian de la machine, agissent par leur inertie sur un bras de levier moins long et, par conséquent, donnent naissance à des efforts perturbateurs moins prononcés.

D'autre part, les cylindres extérieurs sont plus accessibles et permettent la suppression de l'essieu coudé qui est une pièce difficile à bien exécuter, coûteuse et nécessitant une surveillance active.

A mesure toutefois que les machines se perfectionnent et que l'industrie mécanique ou métallurgique progresse, les avantages des deux systèmes perdent de leur importance. Ainsi, les progrès de la métallurgie permettent d'exécuter des essieux coudés parfaitement sains et solides, ce qui retire aux cylindres extérieurs leur principal avantage, tandis que l'addition d'un bogie à l'avant des machines assure une grande stabilité et contrebalance l'effet perturbateur des cylindres extérieurs, diminuant, à ce point de vue, la supériorité des cylindres intérieurs.

Aux États-Unis, les cylindres extérieurs sont seuls usités; il en est à peu près de même en Allemagne, en Autriche et en Italie. En Angleterre, toutes les Compagnies, à l'exception d'une seule qui n'exploite pas la quinzième partie du réseau, emploient uniquement les cylindres intérieurs. En

France, on est moins exclusif: les Compagnies du *Nord* et de l'*Ouest* n'emploient que les cylindres intérieurs pour leurs machines express, mais adoptent les cylindres extérieurs pour la plupart de leurs machines à marchandises. La Compagnie de l'*Est* n'emploie pour ses express que des cylindres extérieurs et possède un certain nombre de machines mixtes ou à marchandises dont les cylindres sont intérieurs. Les Compagnies de *Paris-Lyon-Méditerranée* et d'*Orléans* n'ont, pour ainsi dire, que des machines à cylindres extérieurs; la première, toutefois, a construit, dans ces dernières années, un grand nombre de locomotives compound à cylindres intérieurs et extérieurs.

On reproche souvent aux locomotives à cylindres intérieurs de présenter une accessibilité défectueuse du mécanisme. Il n'en est pas ainsi quand ces machines sont bien disposées; si, par exemple, la hauteur du tablier est bien choisie et si la chaudière est suffisamment relevée, le mécanisme intérieur sera parfaitement accessible pendant les stationnements. Il le sera beaucoup plus que les mécanismes extérieurs en cours de route, le mécanicien pouvant suivre des yeux le fonctionnement des organes en se portant sur le tablier, vers l'avant du corps cylindrique, sans se pencher au dehors. Les machines anglaises sont particulièrement bien disposées sous ce rapport; leurs mécanismes intérieurs se trouvent d'autant plus accessibles que l'emploi des quais hauts est général dans les gares de la Grande-Bretagne et que les mécanismes extérieurs seraient en partie masqués, lors du stationnement dans les gares.

La position du mouvement de distribution n'est pas nécessairement dépendante de celle du mécanisme moteur. La distribution peut être intérieure avec des cylindres extérieurs (express type 1879 de la Compagnie de *Paris-Lyon-Méditerranée*, etc.; beaucoup de machines allemandes; toutes les machines américaines), ou extérieure avec des cylindres intérieurs (anciennes express de l'*Ouest*, express de l'*Orléans* type 1889).

D'autre part, les nouvelles machines à bogie de l'*Ouest*, les express du *Nord*, du type « Outrance », les express de l'*État Belge*, toutes les machines anglaises, ont le mouvement

de distribution à l'intérieur des longerons, comme le mécanisme moteur. Les machines à marchandises à huit roues accouplées (*Nord*, *Est*, *État*, *Paris-Lyon-Méditerranée*, *Orléans*) ont tout le mouvement à l'intérieur.

Quand les organes de la distribution sont placés à l'extérieur, on monte de chaque côté les excentriques sur une manivelle, organe d'une certaine complication et qui empêche d'adopter pour la tête correspondante de la bielle d'accouplement la disposition si simple et si répandue aujourd'hui de bagues sans rattrapage de jeu. En outre, les organes de la distribution sont plus exposés aux chocs et aux avaries de toute espèce. Ce sont des considérations de cette nature qui font souvent placer à l'intérieur des longerons la distribution des cylindres extérieurs.

Il est difficile, on le voit, en ce qui concerne ces dispositions, comme pour beaucoup d'autres relatives aux locomotives, de formuler une règle définie; tout dépend des circonstances ou de la manière d'envisager les choses.

Les cylindres des locomotives doivent être, autant que possible, placés horizontalement, leur inclinaison donnant naissance, sous l'action de la vapeur, à une composante verticale qui tend alternativement à soulever l'avant et à imprimer à la machine un mouvement prononcé de *galop*. Il est des cas, toutefois, où l'on ne peut éviter de les incliner : tel est, par exemple, le cas des machines à cylindres extérieurs et à bogie ayant des roues motrices de petit diamètre et dont les cylindres sont placés entre les roues du truck, ou celui des locomotives à cylindres intérieurs dont les roues avant sont accouplées et ont, par conséquent, le même diamètre que les roues motrices. On doit alors incliner l'axe des cylindres, par rapport à l'horizontale, d'une quantité suffisante pour que les tiges de piston puissent passer au-dessus de l'essieu correspondant. D'ailleurs, l'inclinaison nécessaire pour qu'il en soit ainsi est assez faible, en général, pour ne pas avoir d'inconvénients sérieux.

40. **Cylindres et boîtes à tiroirs.** — Le cylindre est l'organe essentiel du mécanisme où s'accomplit la transformation, en travail mécanique, de l'énergie calorifique contenue

dans la vapeur. A proprement parler, les autres parties du moteur ne sont, en réalité, que des organes ayant pour objet de transformer le mouvement rectiligne alternatif du piston en mouvement circulaire continu, ou que des accessoires propres à effectuer, par exemple, la distribution de la vapeur sur les deux faces du piston.

Les cylindres sont toujours en fonte, seul métal qui permette d'obtenir, à un prix raisonnable, des organes de formes compliquées, munis de brides, de tubulures, de conduits et de pattes d'attache. La fonte offre, en outre, une surface dure et susceptible de prendre un bon poli.

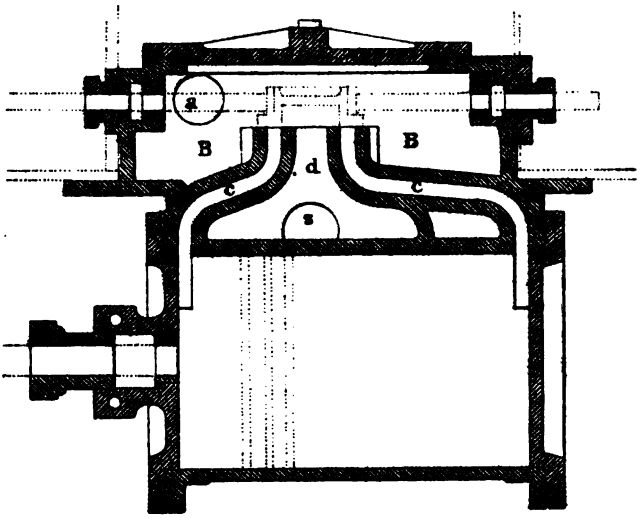
On emploie, pour la composition de la fonte à cylindres, un mélange qui se rapproche du suivant :

8	parties	fonte au bois, n° 5;
10	—	fonte écossaise;
10	—	bocage.

Les proportions des différentes qualités de métal entrant dans la composition de la fonte doivent varier suivant la dureté que l'on désire obtenir, dureté qui devra être aussi grande que possible eu égard aux autres *desiderata*, entre autres à la fluidité nécessaire pour mouler des pièces compliquées.

Le corps du cylindre est fondu d'une pièce avec la boîte à tiroir B (*fig.* 18 et 19) et les conduits d'admission *c* et d'échappement *d*. Le corps du cylindre est alésé intérieurement, de manière à présenter une surface parfaitement cylindrique. A chaque extrémité du cylindre est ménagée une amorce, d'un diamètre un peu plus grand que l'intérieur du cylindre proprement dit et qui a pour but de permettre la sortie du piston, en cas de démontage. S'il en était autrement, l'usure du cylindre, se produisant uniquement sur la partie parcourue par le piston, créerait une augmentation de diamètre qui ne permettrait plus de retirer facilement le piston, les segments s'étant un peu ouverts.

Les deux fonds du cylindre ne peuvent être venus de fonte avec lui; l'un d'eux, au moins, est forcément démontable pour permettre de dégager complètement l'intérieur du cylindre, pour l'alésage, pour le montage et le démontage du piston.



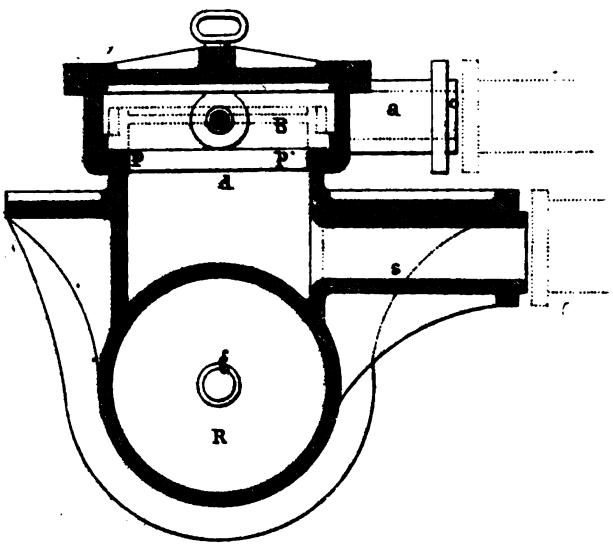


Fig. 18 et 19. - Coupes du cylindre.

Le couvercle est toujours placé du côté opposé à l'essieu moteur, de telle sorte que l'on puisse facilement démonter le piston en déclavetant simplement sa tige dans sa traverse. Quelques constructeurs, entre autres la *Société alsacienne de Constructions mécaniques*, adaptent souvent aux cylindres extérieurs un couvercle à chaque extrémité. De la sorte, en plaçant la boîte à tiroir horizontalement et dans le plan médian transversal du cylindre, on peut mouler les cylindres de droite et de gauche d'après un modèle unique qu'il suffit de retourner.

Les cylindres extérieurs sont toujours venus de fonte séparément, mais les cylindres intérieurs peuvent être fondus ensemble. Cette pratique, très suivie en Angleterre, a l'avantage de nécessiter moins d'ajustage et de permettre le rapprochement des axes des cylindres, la paroi intermédiaire étant commune. Toutefois, avec un tel système, si l'un des cylindres est fondu ou avarié, la pièce entière est perdue.

Les cylindres se fixent aux longerons par des pattes d'attache venues de fonte et percées de nombreux trous que traversent des boulons qui doivent être entrés, à frottement très dur, dans les pattes et dans le longeron, afin d'assurer la rigidité de l'assemblage. D'ailleurs, pour éviter la fatigue et le cisaillement de ces boulons sous l'action de la poussée que la vapeur exerce sur les fonds du cylindre, il est d'usage d'encastrer une partie en saillie bien dressée, venue de fonte avec la patte d'attache, qui s'ajuste exactement à l'intérieur d'une ouverture de même forme pratiquée dans le longeron.

Le *plateau* ou *couvercle* du cylindre n'a pas seulement pour but de fermer celui-ci, il doit encore être disposé de manière à remplir l'espace mort sans obstruer les lumières. A cet effet, il pénètre d'une certaine quantité dans le cylindre, de façon à ne laisser, entre sa face intérieure et le piston à bout de course, que le jeu strictement nécessaire au bon fonctionnement, jeu qui varie de 8 à 12 millimètres ; il empêche que le piston ne vienne buter contre les fonds, quand il y a de l'usure dans les articulations et que les bielles ont été allongées ou raccourcies pour rattraper ce jeu. Le couvercle vient s'ajuster sur les brides du cylindre par une partie tournée et parfaitement dressée : il est maintenu par

des prisonniers. Si bien dressées que soient les surfaces de contact du couvercle et de la bride, l'étanchéité du joint ne serait pas suffisante. On la complète soit par une couche très mince d'un mélange de minium et de céruse interposé entre les deux surfaces, soit par une feuille de carton enduite d'huile cuite, soit mieux par un simple fil de cuivre, qui s'écrase légèrement sous la pression des boulons.

La *boîte à tiroir* B est venue de fonte avec le cylindre, en même temps que la glace du tiroir et les conduits d'admission et d'échappement. Elle comporte, à sa partie supérieure, un couvercle s'étendant sur presque toute sa longueur, et qui permet de mettre en place et de régler le tiroir. Le couvercle de la boîte est maintenu par des prisonniers comme le couvercle du cylindre ; on le fait en fonte ou en fer forgé.

La *glace du tiroir*, sur laquelle viennent aboutir les lumières communiquant avec les extrémités du cylindre et avec l'échappement, est soigneusement rabotée et dressée, de manière que le tiroir qui vient y glisser, et qui recouvre alternativement les lumières, ne laisse pas passer directement à l'échappement, par ses arêtes inférieures, la vapeur vive.

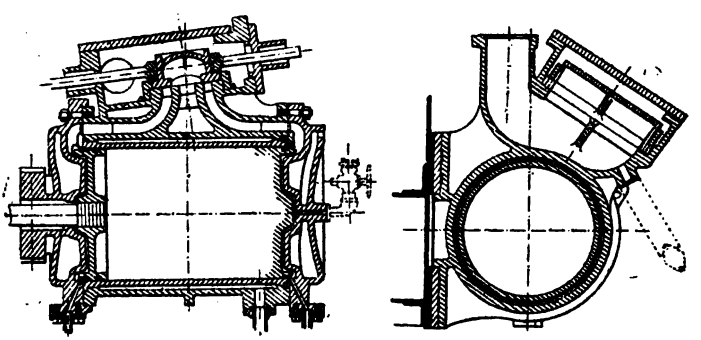


Fig. 20 et 21. — Coupes d'un cylindre extérieur.

La glace peut être horizontale ou inclinée transversalement ou longitudinalement, suivant la disposition qu'affecte le mécanisme de distribution. Quand les cylindres et la distribution sont extérieurs, si les coulisses commandent direc-

tement la tige du tiroir, celle-ci et, par conséquent, la glace seront inclinées (*fig.* 20 et 21). C'est le cas des machines express de l'*Orléans*. Pour que la glace puisse être horizontale, il faut interposer entre la coulisse et la tige du tiroir, un mécanisme de renvoi.

41. **La disposition et l'emplacement des boîtes à tiroir** présentent la plus grande variété. Dans la plupart des machines à cylindres intérieurs (machines Outrance, du *Nord*), les tiroirs sont placés verticalement entre les cylindres et peuvent être actionnés directement par les coulisses. C'est la disposition la plus simple. Toutefois, quand les cylindres sont de grand diamètre, les conduits de vapeur sont alors bien resserrés, les tiroirs très aplatis, et leur glace est peu accessible pour les réparations et l'entretien. On peut éviter ces inconvénients en plaçant les tiroirs en dessus (machine de banlieue *Ouest*, machine mixte de l'*Est*) ou au-dessous (express de l'*Ouest*). Dans ces deux cas, les glaces peuvent être horizontales ou inclinées vers le dehors ou vers l'intérieur; le mécanisme de distribution doit alors commander les tiroirs par l'intermédiaire d'un renvoi de mouvement.

Beaucoup de locomotives à cylindres intérieurs ont leurs boîtes à tiroir placées au dehors, les longerons étant évidés pour leur passage. Les tiroirs sont alors disposés dans un plan vertical, et directement actionnés par des coulisses et excentriques extérieurs. Il nous suffira de citer, comme exemples de cette disposition, les anciennes machines à quatre roues couplées de la Compagnie de l'*Ouest* et les nouvelles locomotives express à cylindres intérieurs de la Compagnie d'*Orléans*.

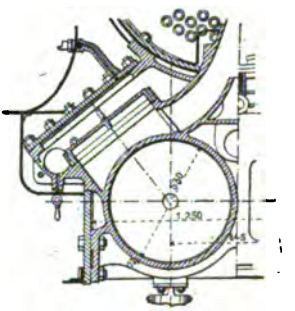


Fig. 22. — Cylindre intérieur avec tiroir incliné vers le dehors.

Dans une disposition très fréquemment suivie aujourd'hui, on place les tiroirs vers le dehors, en haut des cylindres, entre les longerons et la boîte à fumée, et l'on incline for-

tement leurs glaces dans le sens transversal (*fig.* 22). Cet arrangement, qui s'adapte très bien à la distribution *Welschaërt*, est adopté pour beaucoup de machines de l'*Etat Belge*, et pour les nouvelles express des Compagnies du *Nord*, de l'*Ouest* et de *Paris-Lyon-Méditerranée*. Il présente surtout cet avantage de s'adapter parfaitement aux cylindres intérieurs, tout en étant aussi accessible du dehors que les boîtes extérieures.

Quand les cylindres sont extérieurs, on peut disposer les tiroirs à l'intérieur des longerons, verticalement; on les actionne alors par un mécanisme de distribution intérieure. Dans la plupart des machines françaises, les tiroirs sont placés vers le haut des cylindres et assez fortement inclinés; ils sont commandés par une distribution extérieure. C'est la disposition classique de l'*Orléans*.

Dans les machines américaines, les tiroirs sont toujours placés horizontalement au-dessus des cylindres, et actionnés par une distribution intérieure au moyen d'un arbre de renvoi.

La distribution Welschaërt, si employée aujourd'hui, permet de disposer les cylindres horizontalement, sans l'interposition d'aucun mécanisme intermédiaire.

Les boîtes à tiroir sont reliées par des tuyaux en cuivre placés en dehors ou à l'intérieur de la boîte à fumée, et communiquant avec la chaudière par l'intermédiaire du *régulateur*.

Les conduits d'échappement sont reliés, par des tuyaux en cuivre ou en fonte, à la colonne d'échappement qui est commune aux deux cylindres.

Quand les cylindres sont intérieurs, ils servent de support et d'attache à l'avant à la chaudière, qui y repose et s'y trouve boulonnée par l'intermédiaire de la boîte à fumée.

42. Pistons et tiges de pistons. — Le piston est destiné à transmettre à la bielle motrice, par l'intermédiaire de sa tige, les efforts de traction et de poussée alternativement exercés par la vapeur sur ses deux faces. Pour qu'il soit réellement efficace, cet organe doit constituer une sorte de cloison mobile et parfaitement étanche séparant les deux côtés du

cylindre sans qu'il se produise de fuites entre l'admission et l'échappement.

Le piston devra donc être construit en vue de résister à la pression exercée sur lui par la vapeur et d'assurer l'étanchéité sur la périphérie du cylindre. On ne saurait pourtant se contenter de donner au piston l'épaisseur voulue pour qu'il résiste seulement aux efforts statiques dus à la pression de la vapeur sur leurs faces. Il doit, en outre, être à même de supporter les chocs provenant des coups d'eau ou les efforts d'inertie.

D'autre part, le piston étant un organe animé d'un mouvement alternatif devra présenter une légèreté aussi grande que possible pour ne pas accroître démesurément, par son action, l'effet des efforts perturbateurs résultant de l'inertie des organes mobiles du mécanisme.

Le piston se compose en principe d'un *corps*, ou *souche*, et de la *garniture* formée par les *segments* destinés à assurer l'étanchéité (*fig.* 23 et 24).

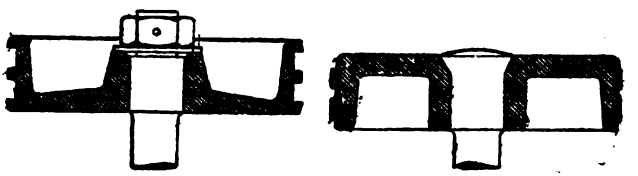


Fig. 23 et 24. — Pistons.

En principe, la garniture du piston n'a d'autre but que de parer à l'imperfection de la construction et de remédier à l'usure qui se produit invariablement au bout de quelque temps de service.

Dans les locomotives, le corps du piston se confectionne le plus souvent en fer étampé et affecte la forme d'un disque assez plat, muni à sa périphérie d'une couronne plus large qui reçoit la garniture. Quelques Compagnies préfèrent aujourd'hui l'acier moulé; le bronze s'emploie aussi, mais rarement. Certains constructeurs continuent l'emploi de la fonte, qui exige généralement que le piston soit composé de deux disques parallèles, séparés par un espace vide et réunis par un certain nombre de nervures rayonnantes.

Quand on veut donner aux pistons à simple tôle une grande légèreté, on forme la souche d'un tronc de cône très aplati, qui par sa raideur naturelle permet de diminuer l'épaisseur (*fig.* 25).

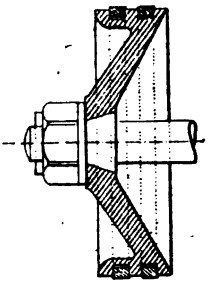


Fig. 25. — Piston en forme de cône.

Le corps du piston ne doit pas porter contre les parois du cylindre ; on lui donne à cet effet un diamètre inférieur de 5 à 6 millimètres à celui de l'alésage.

La garniture du piston a pour but d'assurer l'étanchéité de ce dernier, malgré les inégalités que présente la surface intérieure du cylindre ou en dépit de l'usure qui se produit, sans donner lieu néanmoins à un serrage excessif contre les parois. Elle doit donc présenter une certaine élasticité, afin de s'appliquer parfaitement sur la périphérie du cylindre et de permettre au piston de jouer librement, même s'il se dilate légèrement.

Le genre de garniture adopté pour les locomotives dérive presque toujours du type *suédois* et se compose ordinairement de deux bagues en fonte, non jointives, qui s'appliquent sur les parois du cylindre par l'effet de leur propre bande. On a renoncé aux dispositifs compliqués, à une certaine époque si en faveur : garnitures discontinues, dispositifs complexes de coins de serrage et de vis de réglage. Chacun de ces segments est coulé et tourné sous forme d'une bague continue d'un diamètre extérieur supérieur de quelques centimètres à l'alésage du cylindre. On vient ensuite couper cette bague sur une longueur telle qu'en la pressant, et sans amener complètement les bords en contact, on puisse la faire pénétrer dans le cylindre.

Une fois tourné, dressé et coupé, le segment est placé dans la cannelure du piston destinée à le recevoir. Il doit s'y ajuster à frottement doux sans jeu sensible dans le sens longitudinal, pour ne pas donner de choc lors du changement de direction à chaque bout de course. Aussi les gorges du piston doivent-elles être tournées de manière que le segment s'y applique sur tout son développement. La bague doit, en effet,

former joint étanche, aussi bien avec le bord du piston qu'avec le cylindre.

Pour empêcher les fuites par le travers de coupure des segments, on donne au piston le diamètre le plus grand possible, afin qu'il vienne les recouvrir en partie. Souvent, on dispose, en outre, derrière la coupure, une languette fixée à un des bouts du segment qui vient masquer la fente en s'y appliquant, mais sans empêcher le jeu élastique dudit segment. Afin d'éviter de rayer les cylindres, souvent on pratique obliquement la coupure des bagues; de plus, les coupures sont dans des plans diamétraux différents.

Les *tiges de piston* se font ordinairement en acier demi-dur, afin de mieux résister à l'usure à l'intérieur de leur presse-étoupes. Ces tiges, parfaitement cylindriques et tournées avec soin, sont montées de manière à se trouver dans l'axe du cylindre. Elles sont assemblées très solidement avec le piston, la pression de la vapeur qui tend à les séparer pouvant atteindre jusqu'à 25 tonnes.

L'assemblage de la tige sur le piston s'effectue suivant des dispositifs très variés, mais se rattachant à deux classes, suivant que la tige, se démontant sur la crosse, est *fixée à demeure sur le piston* (*fig.* 24) ou, au contraire, suivant que, fixée sur la crosse, elle forme avec le piston un *assemblage facilement démontable* (*fig.* 23 et 25). Quelquefois, l'assemblage est démontable sur la crosse et sur le piston.

En France, on préfère, en général, les assemblages fixes sur le piston, et les tiges sont rivées ou vissées à chaud sur le moyeu du piston. A l'étranger, en Angleterre et aux États-Unis notamment, on donne, au contraire, la préférence aux assemblages démontables sur le piston; la tige est maintenue, d'un côté, par un collet venu de forge, de l'autre, par un écrou. Quand la portion de la tige qui pénètre dans le moyeu du piston est cylindrique, le démontage présente quelquefois certaines difficultés à cause de l'adhérence entre la tige et le piston; on y remédie en adoptant l'assemblage sur cônes.

43. Garnitures des tiges. — Les tiges de piston et de tiroir doivent traverser la paroi du cylindre ou de la boîte à tiroir

à travers une garniture, ordinairement appelée *presse-étoupes*, *stuffing-box* des Anglais, qui assure l'étanchéité à son pourtour, sans créer un frottement excessif.

Dans le type de presse-étoupes le plus simple, le couvercle du cylindre ou de la boîte à tiroir porte une saillie cylindrique dans laquelle est ménagée une chambre R dont le fond reçoit une bague en bronze alésée intérieurement à un diamètre très légèrement supérieur à celui de la tige. Des garnitures, composées de tresses annulaires en chanvre ou en coton, sont placées dans cette chambre (*fig.* 26) et serrées

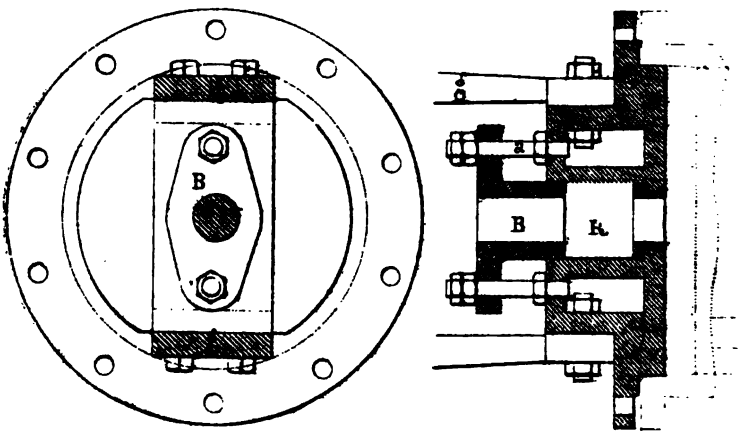


Fig. 26. — Presse-étoupes.

contre la tige au moyen d'un chapeau B sur lequel on vient agir au moyen de boulons. Ces bagues se remplacent facilement après usure sans qu'il soit nécessaire de retoucher à aucune des pièces essentielles de la boîte.

Aujourd'hui, les garnitures en chanvre et en coton sont à peu près uniformément abandonnées, grâce surtout à l'élévation des pressions et, par conséquent, des températures, défavorables à la durée des garnitures végétales. Certaines Compagnies n'ont pas modifié leurs presse-étoupes et se sont contentées de remplacer le chanvre par de l'amiante ; mais la

plupart d'entre elles ont adopté des garnitures métalliques dérivées de celles qui sont employées pour les pistons.

Ces garnitures métalliques, dont la variété est considérable, se composent de bagues jointives fondues en métal blanc assez mou, disposées à l'intérieur d'une boîte analogue à celle des presse-étoupes ordinaires et faiblement serrées par un chapeau. La garniture *Kubler*, employée par la Compagnie de l'*Est*

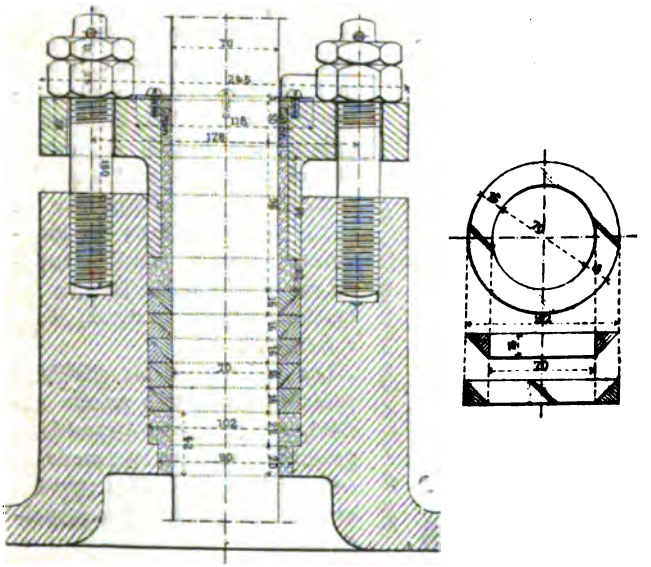


Fig. 27. — Garniture Kübler.

(*fig.* 27), comporte des rondelles coniques superposées qui tendent à se fermer et à serrer la tige quand on visse les écrous du chapeau, opération qui doit se faire avec douceur pour ne pas amener de coincement. Pour éviter cet inconvénient, les Américains ont imaginé de serrer les chapeaux de leurs presse-étoupes à bloc et d'opérer le réglage des segments par un ressort héliçoïdal concentrique à la tige.

44. Crosses de tiges de piston et glissières. — La crosse de tige de piston, guidée par les glissières et sur laquelle vient

s'articuler la bielle motrice, assure le mouvement rectiligne de la tige du piston malgré la composante transversale due à l'obliquité de la bielle motrice.

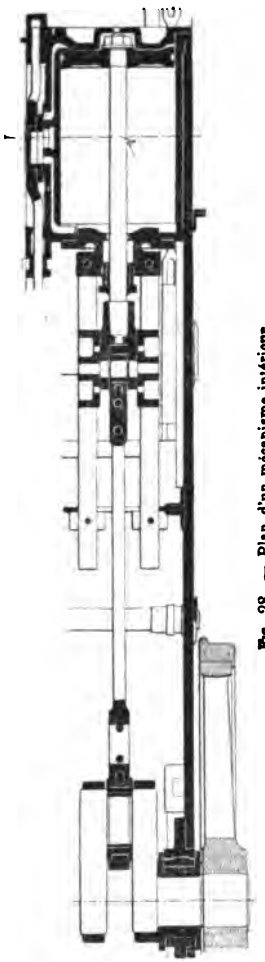


Fig. 28. — Plan d'un mécanisme intérieur.

Les glissières doivent présenter une section suffisante pour résister sans fléchir à cet effort transversal, et les patins des coulisseaux, une surface frottante assez étendue pour qu'il ne se produise qu'une usure extrêmement minime. Pour un sens déterminé de rotation, cette composante est dirigée du même côté et, par conséquent, applique toujours le coulisseau sur la même glissière. Dans les locomotives, c'est la glissière supérieure qui travaille lorsque la machine marche en avant, et inversement.

Les crosses et les glissières présentent une très grande variété, tant dans leurs dispositions générales que dans leur mode de construction, mais elles peuvent se rattacher à trois types principaux.

1° *Disposition comportant quatre glissières situées deux à deux de part et d'autre de la tige* (*fig.* 28). — La tête de la tige du piston porte une courte traverse qui se termine à ses extrémités par deux tourillons sur lesquels on monte les coulisseaux, qui la guident et se meuvent dans deux glissières très rapprochées, fixées aux longerons. Généralement, c'est la crosse elle-même qui forme une fourche, à l'intérieur

de laquelle vient se placer la petite tête de bielle. Les coulisseaux peuvent être venus de fonte ou de forge avec la crosse. Ce genre de crosse est compact, simple et de construction facile; il s'oppose à toute tendance de rotation autour de son axe et facilite l'accessibilité de la petite tête de bielle. On la rencontre rarement en France, mais elle est extrêmement usitée en Belgique et en Angleterre.

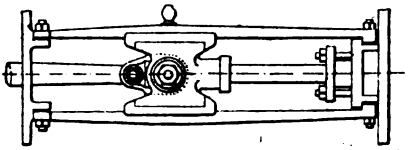


Fig. 29. — Glissières ordinaires.

2° *Dispositif comportant deux glissières placées dans le plan d'oscillation de la bielle, de chaque côté de la tige* (*fig.* 29). — C'est le type le plus employé en France, surtout pour les machines à cylindres extérieurs.

Les deux glissières sont situées dans le plan d'oscillation de la bielle, l'une au-dessus, l'autre au-dessous de la tige. L'écartement des deux glissières doit être suffisant pour permettre le jeu de la bielle, puisqu'elles sont dans le même plan vertical. La crosse appropriée à ce genre de glissière se compose de deux joues A solidaires du bossage C dans lequel la tige T du piston est fixée au moyen d'un assemblage conique et d'une clavette. Ces deux joues sont réunies par un double encastrement à des patins en fonte ou en bronze B qui coulissent sur les glissières. Le tourillon

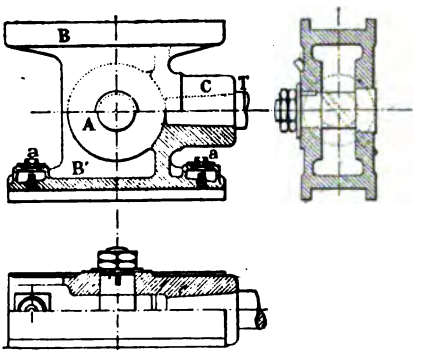


Fig. 30. — Crosse de tige de piston.

est maintenu par un chapeau et deux petits boulons; mais, très souvent, il se compose simplement lui-même d'un gros boulon monté sur des cônes ou retenu d'un côté intérieur par un collet (*fig.* 30).

3° *Dispositif comportant une seule glissière située dans le plan d'oscillation de la bielle et au-dessus de la tige* (*fig.* 31). — Ce type de glissière est assez employé depuis quelques années. On le retrouve sur un assez grand nombre de machines de la

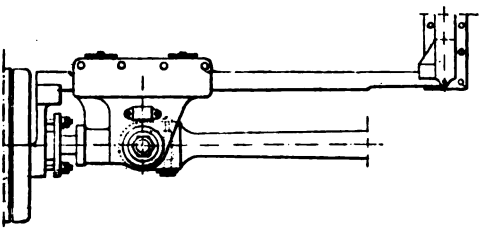


Fig. 31. — Glissière unique.

Compagnie du *Nord*, et sur les machines-tenders de la Compagnie de l'*Ouest*. La glissière est ordinairement constituée par une barre rectangulaire dont les deux faces sont rigoureusement parallèles, et qui est embrassée par la crosse. La

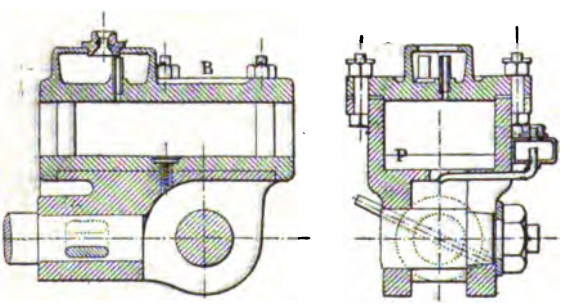


Fig. 32 et 33. — Crosse pour glissière unique.

face inférieure sert pour la marche avant, et la face supérieure pour la marche arrière (*fig.* 32, 33). La partie de la crosse qui embrasse la glissière est démontable.

Quel que soit le système adopté, les glissières doivent être rigoureusement parallèles entre elles et à l'axe du cylindre ; elles s'attachent le plus souvent, d'un côté, à des bossages venus de fonte à cet effet avec le fond du cylindre et, de l'autre, à une plaque spéciale de support, percée en son milieu d'une fente rectangulaire pour permettre le passage et l'oscillation de la bielle motrice. Quand les cylindres sont intérieurs, la plaque, support de glissière, forme entretoise des longerons. Les glissières se font en acier assez dur pour n'être pas sujettes à une usure trop rapide, et pour donner un bon frottement.

Quand les crosses sont en acier doux forgé, ou en acier moulé, on rapporte des platines de frottement en fonte, en acier dur ou en bronze.

Généralement, dans les locomotives, le rattrapage de jeu s'opère, non sur la crosse, mais sur les glissières. A cet effet, celles-ci sont montées sur des cales minces en laiton qui permettent d'opérer un certain réglage.

45. Bielles motrices. — La bielle motrice est l'organe de transmission reliant la tige du piston à la manivelle et servant à transformer en mouvement continu de rotation le mouvement rectiligne alternatif du piston. Elle est articulée, par une de ses extrémités, à la crosse de tige du piston et, à l'autre, au bouton de la manivelle. A cet effet, elle se termine à chaque bout par une tête dans laquelle sont maintenus les coussinets remplissant l'office de surface frottante pour les tourillons et servant au rattrapage du jeu (*fig.* 34 et 35).

La bielle se compose donc d'un *corps* et de deux *têtes* : celle qui est située du côté de la manivelle s'appelle la *grosse tête*, l'autre est dite *petite tête*.

Dans les locomotives, les corps de bielle présentent ordinairement une section rectangulaire pleine ou évidée en I ; elles ont généralement la forme d'une pyramide tronquée, leur hauteur étant plus grande près de la grosse tête que près de la petite.

Les petites têtes forment généralement une simple articulation sans rattrapage de jeu, ou tout au moins appartiennent au type dit à tête fermée. Dans le premier cas, la bielle se

termine simplement par un œil à l'intérieur duquel on introduit à frottement dur une bague en bronze souvent antifrictionné. Quand cette bague est usée, on la remplace. Les grosses têtes de bielle à cage fermée (*fig.* 34 et 35) ne peuvent s'appliquer qu'aux manetons des manivelles en porte-à-faux comportant seulement du côté extérieur un collet d'un diamètre peu supérieur à celui du tourillon, de sorte qu'il suffit d'écarter les coussinets en desserrant les clavettes qui les retiennent pour sortir la tête et démonter la bielle.

Avec ce système, la bielle se termine par une cage venue

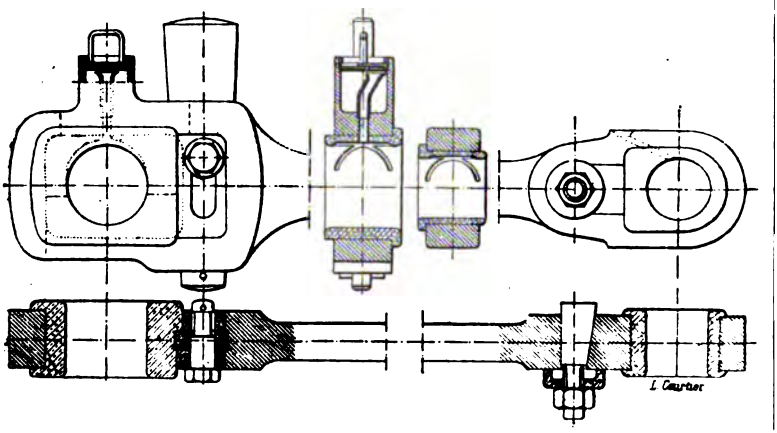


Fig. 34 et 35. — Bielle motrice.

de forge, entièrement rabotée sur toutes ses faces, et située dans le plan d'oscillation de la bielle. A l'intérieur de cette cage sont placés deux coussinets en bronze serrés l'un contre l'autre au moyen d'une clavette et laissant entre eux une ouverture circulaire dans laquelle passe le maneton. Le demi-coussinet arrière porte à son pourtour des joues qui servent à l'emboîter dans la tête de bielle et à l'empêcher de s'échapper latéralement. Le demi-coussinet avant ne porte de joue que du côté extérieur, en haut et en bas. On peut donc le démonter facilement vers l'extérieur; en temps ordinaire il est maintenu par l'encastrement de la clavette.

Les coussinets en bronze sont serrés l'un sur l'autre, à *bloc*. Cela veut dire que les deux faces qui se touchent sont ajustées de telle sorte que, une fois les coussinets fortement serrés par la clavette, ils laissent en leur milieu un trou circulaire ayant le diamètre du tourillon. Avec ce système, on ne risque donc pas d'exagérer le serrage. Entre les deux coussinets, on dispose des cales minces en laiton, que l'on amincit un peu lorsqu'il s'est produit de l'usure, afin de rattraper le jeu. La clavette est munie d'un frein qui l'empêche de se desserrer. On remplace quelquefois la clavette par un coin, dont on provoque le déplacement longitudinal au moyen d'une grosse vis qui le traverse.

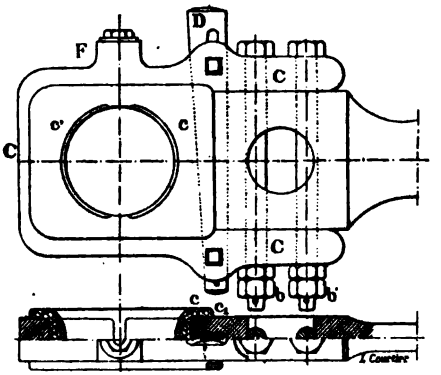


Fig. 36 et 37. — Tête de bielle à chape.

Quand la bielle doit se monter sur un maneton portant une contre-manivelle, ou sur un essieu coudé, il est évident que, pour que le démontage de la bielle soit possible, il faut que le cadre formant la tête et maintenant le coussinet soit démontable. Il existe un grand nombre de systèmes que nous ne pouvons décrire ici en détail. Les principales sont les têtes de bielle à *chape* (*fig.* 36 et 37), à *fourche* et à *palier*.

Dans la *bielle à chape*, la cage de la tête est formée, vers l'avant, par l'extrémité de la bielle, sur les côtés et en arrière, par une chape en fer C parfaitement ajustée sur la bielle, à laquelle elle est fixée par deux boulons parallèles *b*, *b'*,

qui la traversent de part en part. A l'intérieur du cadre ainsi formé, sont placés, comme précédemment, deux coussinets *c*, *c'* serrés par une clavette D. Pour démonter une semblable tête de bielle, on commence par retirer la clavette, puis les boulons et, enfin, la chape, jusqu'à ce que son extrémité antérieure soit dégagée des coussinets. Cette bielle s'applique, surtout en Belgique et en Angleterre, aux machines à cylindres intérieurs; c'est la seule tête de bielle employée aux États-Unis pour les mouvements extérieurs ; en France, au contraire, elle n'est que fort peu employée et ne l'est jamais pour les bielles extérieures.

On préfère chez nous la tête de *bielle à fourche* (*fig.* 38). La bielle se termine par une fourche placée dans le plan vertical et venue de forge. On y glisse par l'arrière deux coussinets, que l'on serre à l'aide d'une clavette traversant les deux branches de la fourche en deçà du tourillon. Cette tête est employée par la Compagnie d'*Orléans* et par les chemins de fer de l'*État*. Elle ne peut s'appliquer aux tourillons de très gros diamètres comme ceux des essieux coudés.

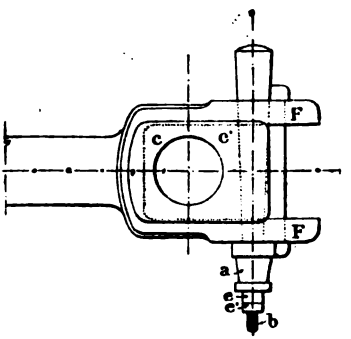


Fig. 38. — Tête de bielle à fourche.

La tête de bielle dite à palier convient pour les gros tourillons des essieux coudés. Ce genre de tête de bielle présente avec les paliers ordinaires une analogie complète. Le corps de la bielle se termine par une embase élargie venue de forge et rabotée sur toutes ses faces. Le bouton de manivelle est entouré, entre cette embase et un chapeau rapporté en acier, de deux demi-coussinets serrés à l'aide de deux boulons parallèles à l'axe de la bielle et placés de part et d'autre du tourillon.

Quelquefois, tout en conservant la forme de la bielle à palier on fait venir les boulons de forge avec la partie de la

tête attenant à la bielle. D'autres fois, au contraire, ces boulons sont venus de forge avec le chapeau, qui devient un véritable étrier (Compagnie de l'*Ouest*).

Les coussinets de toutes ces têtes de bielle doivent être serrés à bloc sur cales.

46. Bielles d'accouplement. — Les bielles, servant, comme leur nom l'indique, à accoupler entre elles les roues qui doivent être entraînées par la rotation de l'essieu moteur, se font toujours de section rectangulaire ou en I. Leurs têtes sont généralement symétriques, car elles se montent sur des tourillons ayant sensiblement le même diamètre. Quand ces têtes sont à rattrapage de jeu, elles sont presque toujours à cage fermée avec clavettes de réglage. Le réglage doit être effectué avec le plus grand soin, car les bielles d'accouplement doivent toujours présenter la même longueur contre les axes des tourillons des deux côtés de la machine, distance égale à l'entr'axe des essieux. Pour ne pas raccourcir ou allonger ces bielles lors du rattrapage de jeu, il est indispensable de placer les clavettes des deux têtes du même côté des tourillons. Si, par exemple, on plaçait les deux clavettes vis-à-vis, entre les tourillons, on augmenterait la distance d'axe en axe des coussinets en enfonçant les clavettes pour le réglage. L'inverse se produirait si on plaçait les deux clavettes en dehors des tourillons, de part et d'autre.

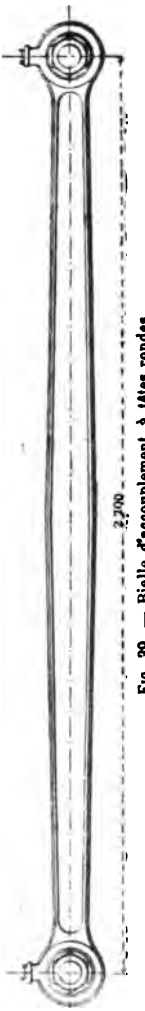


Fig. 39. — Bielle d'accouplement à têtes rondes.

Beaucoup de Compagnies françaises et étrangères et tous les constructeurs anglais préfèrent aujourd'hui les bielles d'accouplement à *têtes rondes* sans rattrapage de jeu (*fig.* 39). Les

bielles se terminent à chaque bout par un œil à l'intérieur duquel on fait entrer de force une bague en bronze. Ces bielles peuvent fournir un parcours très considérable sans usure appréciable. Comme elles n'ont aucun moyen de réglage, les agents des dépôts ne peuvent produire de serrage ou de desserrage intempestifs ; on est sûr que leur longueur reste invariable. Les bielles de ce genre sont employées aujourd'hui d'une manière générale par les Compagnies du *Nord* et de l'*Ouest*, pour leurs machines à voyageurs tout au moins.

Quand on accouple plus de deux essieux, on ne peut employer, de chaque côté, une bielle entièrement rigide. Les déplacements verticaux des essieux dans les plaques de garde, sous l'action des inégalités de la voie, feraient casser ces bielles. On doit employer, pour chaque côté de la machine, un nombre de bielles indépendantes égal au nombre des essieux moins un. On peut les monter séparément côte à côte sur les mêmes tourillons, mais on préfère presque toujours les articuler autour d'un axe spécial placé à côté du tourillon d'accouplement correspondant.

Si l'un des essieux accouplés possède un certain jeu transversal, on devra monter l'axe d'articulation de la bielle d'accouplement sur une petite bague sphérique permettant à la bielle d'accouplement de prendre une certaine obliquité transversale.

Quand le tourillon moteur comporte, comme c'est souvent le cas avec les machines à cylindres extérieurs, une contre-manivelle destinée à porter les excentriques, il est indispensable que les têtes de bielles d'accouplement qui se montent sur ce tourillon, côte à côte avec la bielle motrice, soient à cage ouverte, afin de pouvoir se mettre en place et se démonter.

Les têtes de bielles sont retenues, vers le dehors, par un collet venu de forge avec le tourillon, quand elles sont à rattrapage de jeu, par un écrou et une rondelle, quand elles sont à bague.

47. Coussinets. — Graissage. — Les coussinets sont des organes intermédiaires ajustables, destinés à former les surfaces de contact et de frottement entre les tourillons d'articulation et les bielles. Ils ont pour but :

1° De permettre, pour l'établissement de ces surfaces, l'emploi de matériaux appropriés en vue de l'usure et du frottement;

2° De faciliter la mise en place et le réglage au montage des organes mobiles;

3° De permettre un rattrapage aussi parfait que possible des jeux qui peuvent se produire aux articulations.

Les coussinets se font presque toujours en bronze de qualité et de dureté différentes suivant les cas. Ils doivent présenter une surface de portage différente, pour qu'il ne se produise ni échauffement, ni usure sensible, et être composés d'un métal présentant un faible coefficient de frottement, assez mou pour ne pas user les tourillons, assez dur pour ne pas avoir tendance à s'échauffer, et assez tenace pour ne pas se fendre sous l'action des chocs répétés.

Le bronze destiné à la confection des coussinets varie de 90 de cuivre et 10 d'étain à 85 de cuivre et 15 d'étain. On ajoute souvent de 1 à 2 0/0 de zinc.

Les coussinets portent des joues latérales ajustées qui viennent s'emboîter exactement sur les parties dressées des bielles, et servent à les relier à celles-ci dans le sens transversal.

On garnit très souvent les coussinets de *métal blanc* ou *antifriction*, dont les avantages semblent surtout résulter de ce que cette composition, plus molle que le bronze, se moule mieux sur les tourillons, en épouse davantage les creux et les reliefs, par conséquent augmente la surface de contact et diminue les chances d'échauffement. En outre, son degré de fusion étant peu élevé, elle fond, en cas d'échauffement, avant que le tourillon ne soit grippé.

Le métal blanc se compose généralement de cuivre, d'étain et d'antimoine; on ajoute quelquefois du plomb et du zinc. Une bonne composition, par exemple, est la suivante :

Cuivre	5
Étain	70
Antimoine	25
TOTAL	100

On ne garnit pas toujours en plein les coussinets de métal

blanc. On se contente parfois de le couler dans des bandes obliques, ou dans des macarons circulaires à queue d'aronde.

Le *graissage des coussinets* est assuré par l'écoulement continu ou intermittent de l'huile emmagasinée dans un godet F placé à la partie supérieure de la tête de bielle (*fig.* 36). Dans ce godet, aboutit un conduit vertical, qui débouche dans le coussinet supérieur, le traverse et se trouve relié à sa surface intérieure par un congé arrondi, de manière qu'il n'y ait aucune arête vive sur la surface frottante. Le conduit aboutit à des *pattes d'araignée*, sortes de rainures tracées sur la surface intérieure du coussinet et aboutissant aux trous du graisseur, qui servent à distribuer l'huile sur le tourillon.

Les godets de graissage sont généralement venus de forge avec la tête de bielle, puis évidés à la machine. Ils sont fermés à leur partie supérieure par un petit couvercle à ressort. Ce réservoir renferme une mèche plongeant, à une extrémité, dans le bain d'huile et descendant, à l'autre, dans le tuyau de graissage. L'huile monte dans la mèche, par capillarité, puis descend jusqu'à la surface frottante. Le niveau de l'huile est en dessous de l'orifice supérieur du tube de graissage.

Avec un tel système, la matière lubrifiante est débitée par les mèches, aussi bien pendant les stationnements que pendant la marche, l'huile étant, dans le premier cas, dépensée en pure perte.

Pour supprimer la consommation d'huile pendant les arrêts, on a très fréquemment recours aux graisseurs sans mèche et à épinglette (*fig.* 40).

L'orifice du tube de graissage, de très petit diamètre, est situé au-dessus du bain d'huile, à l'intérieur du réservoir ; en marche, l'huile est projetée sur les parois de ce dernier, et quelques gouttes viennent tomber, de temps à autre, dans l'orifice du tube ; elles suffisent largement aux besoins. Cette disposition est employée d'une manière absolument générale par la Compagnie de l'*Ouest*, aussi bien pour les coussinets des boîtes que pour ceux des têtes de bielles.

Quelques constructeurs, dans la crainte qu'un trou aussi petit que celui du tube de graissage (3/4 de millimètre) vienne à s'obturer rapidement, lui donnent un diamètre beaucoup plus fort et viennent y placer une petite épinglette en

acier qui bouche la presque totalité de ce trou et le nettoie au fur et à mesure, par suite des secousses que lui impriment les trépidations de la machine sur la voie.

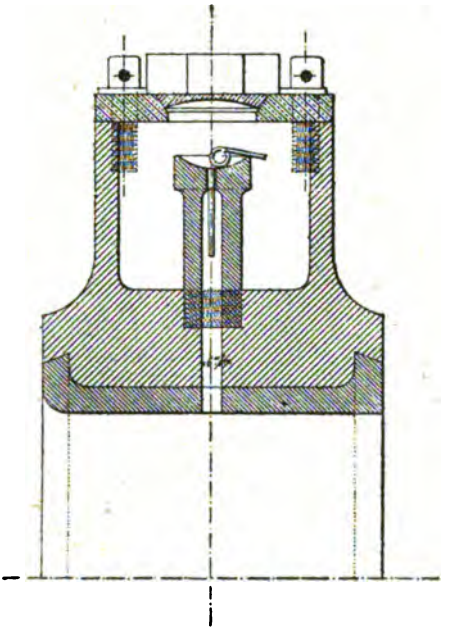


Fig. 40. — Graisseur sans mèche.

Nous parlerons ailleurs des matières employées pour le graissage.

48. Organes de la distribution. — La distribution de la vapeur dans le cylindre est effectuée au moyen d'un *tiroir* qui peut être actionné à tour de rôle par deux *excentriques* calés sur l'essieu moteur, correspondant l'un à la marche avant, l'autre à la marche arrière, par l'intermédiaire d'une *coulisse* servant à changer le sens de la marche et à modifier le degré de détente.

49. Le tiroir adopté pour les locomotives est le plus simple de tous les distributeurs, car il se compose d'un organe unique, de forme rudimentaire, chargé de fonctions complexes et assurant toutes les phases de la distribution.

Ainsi qu'on peut le voir sur la figure 41, représentant un tiroir en coupe longitudinale, les deux conduits de vapeur *a*, *a'*, servant alternativement à l'admission et à l'échappement de la vapeur à chaque extrémité du cylindre, débouchent sur une glace parfaitement dressée XY, placée dans la boîte à tiroir où se rend directement la vapeur des chaudières. Le conduit d'échappement *b*, plus large que les précédents, puisqu'il est destiné à livrer passage à la vapeur détendue, débouche sur la même glace, entre les deux autres.

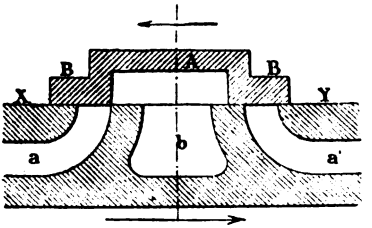


Fig. 41. — Coupe longitudinale du tiroir.

Les conduits sont de forme rectangulaire, parallèles et beaucoup plus longs que larges, afin que, pour découvrir une large section de passage à la vapeur, le tiroir n'ait à se déplacer parallèlement à lui-même que d'une faible quantité.

Au-dessus de ces lumières, est placé le tiroir A, formé par une boîte métallique ouverte seulement sur la face inférieure regardant la glace. Il se compose des deux barrettes transversales B, B', parfaitement ajustées sur la glace du cylindre contre laquelle elles viennent frotter dans le mouvement du tiroir, de manière à former un joint étanche. Dans sa position moyenne, le tiroir recouvre à la fois les trois orifices; la vapeur qui l'entoure et le presse sur la glace ne peut pénétrer dans le cylindre. Si on communique au tiroir un mouvement de gauche à droite, tel que l'orifice soit démasqué par la barrette B, la vapeur pénètrera dans le cylindre et poussera le piston de la gauche vers la droite. En même temps, la cavité intérieure du tiroir, qui est toujours en communication avec le condenseur par l'orifice *b*, vient découvrir la lu-

mière *a* et permet, sur la face avant du piston, l'échappement de la vapeur qui a agi précédemment. Quand le piston a parcouru une certaine fraction de sa course, le tiroir revient en sens inverse et se trouve, s'il n'y a pas de détente, ramené à sa position moyenne quand le piston atteint l'autre extrémité de sa course. Il la dépasse ensuite du côté gauche, et la barrette B' du tiroir vient démasquer l'orifice où la vapeur s'introduit à son tour, tandis que l'échappement se produit sur la face opposée. Ces différentes phases se renouvellent successivement pour que la distribution de la vapeur puisse s'effectuer dans les conditions nécessaires, pour assurer la marche régulière du piston et, par conséquent, le mouvement continu de rotation de la machine.

Le mouvement du tiroir est obtenu au moyen d'une transmission et dérivé de l'arbre à l'aide d'une petite manivelle ou d'un excentrique.

Si, comme nous venons de le supposer, les barrettes B, B' du tiroir présentent la même largeur que les orifices du cylindre, le tiroir devra être à mi-course quand le piston se trouvera à l'extrémité de la sienne, et inversement. Il faudra donc que l'excentrique soit calé à angle droit avec la manivelle.

Mais, en pratique, les barrettes B, B' sont toujours plus larges que les orifices. Pour que la vapeur puisse fonctionner avec détente, il est nécessaire de supprimer son introduction dans le cylindre à une certaine fraction de la course du piston, au lieu de l'admettre pendant toute la course, comme le suppose le fonctionnement du tiroir tel que nous venons de le décrire. On donne alors aux barrettes du tiroir un certain recouvrement.

En outre, afin de combattre à bout de course l'inertie des organes alternatifs et pour que la pression de la vapeur ait le temps de s'établir dans le cylindre au début de la course rétrograde, il est nécessaire de donner au tiroir une certaine *avance*.

Le *recouvrement* consiste dans le prolongement de la barrette du tiroir au-delà de la largeur de l'orifice, de manière que ce dernier soit recouvert et fermé avant que le tiroir soit à mi-course, ce qui diminue la période d'introduction dans

le cylindre. Plus le recouvrement est considérable, plus longtemps l'orifice sera recouvert par le tiroir, et plus grande sera, par conséquent, la période de détente à l'intérieur du cylindre.

L'*avance linéaire* est la quantité dont le tiroir, supposé sans recouvrement, est écarté de sa position moyenne, lorsque le piston est à fond de course.

S'il existe un recouvrement, l'avance est la quantité dont l'orifice est ouvert à la vapeur quand le piston est à bout de course de ce côté. Elle constitue un complément indispensable du recouvrement, puisqu'elle doit, pour que le tiroir ouvre à la vapeur avant que le piston soit au bout de sa

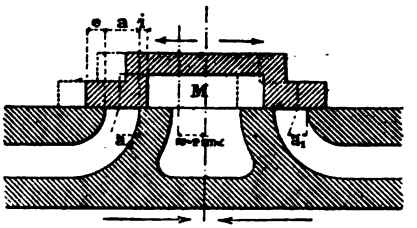


Fig. 42. — Avance et recouvrement.

course, être égale à la valeur du recouvrement augmenté de la hauteur, dont la lumière est découverte du côté extérieur à fin de course du piston. Supposons (*fig.* 42) que, le tiroir étant à mi-course, les deux lumières soient recouvertes.

On appelle *recouvrement extérieur* la quantité dont les barrettes du tiroir dépasseront la lumière du côté extérieur.

L'*avance linéaire* sera la quantité dont l'orifice d'admission est ouvert quand le piston, de ce côté, sera au point mort.

L'*avance à l'échappement* est plus considérable que l'avance à l'admission, puisque nous avons supposé qu'il n'y avait pas de recouvrement de ce côté et que la lumière est, par conséquent, ouverte à l'échappement bien avant que le piston ne soit à bout de course du côté opposé au cylindre et que l'admission de la vapeur n'y ait commencé sur son autre face. Il doit en être ainsi jusqu'à un certain point, la vapeur qui a agi devant avoir complètement évacué le cylindre avant que

le piston ne commence sa marche rétrograde, la faible pression qu'il possède ralentissant l'échappement. Toutefois, on peut craindre parfois que l'avance à l'échappement ne soit trop considérable et ne diminue outre mesure la période de détente. On donne alors un certain *recouvrement intérieur i*. Ce recouvrement doit être beaucoup plus faible que le recouvrement extérieur, car l'avance à l'échappement doit être plus grande que l'avance à l'admission, et parce qu'en donnant au recouvrement intérieur une trop grande valeur on exagérerait la compression, qui commencerait plus tôt, la lumière étant plus rapidement fermée à l'échappement.

L'excentrique sera calé par rapport à la manivelle, à un angle de $90° + \omega$, ω correspondant à l'*angle d'avance* nécessaire pour tenir compte du recouvrement et de l'avance linéaire. Cet angle d'avance est généralement, en pratique, de 30° à 40°, ce qui donne un angle total de calage de 120° à 130°.

Le tiroir simple, à coquille, tel que nous venons de le décrire, est généralement employé sans modification pour les locomotives. Quelques Compagnies cependant font usage du tiroir à *canal* ou de *Trick*. Un canal, ménagé dans le sens de la longueur, va d'une barrette à l'autre en passant au-dessus de la cavité correspondant à l'échappement, avec laquelle il ne communique pas. La glace du tiroir est limitée au dehors par des arêtes rabotées placées et disposées de telle manière que les phases de l'admission soient les mêmes, sur l'orifice du canal, qu'à la lumière opposée du tiroir. Dès que l'admission commence dans la lumière du cylindre, elle se produit de même dans l'orifice correspondant du canal, qui débouche dans cette lumière ; l'admission, se produisant par deux orifices, au lieu d'un seul, s'effectue plus rapidement et avec une perte de charge moindre que si elle s'opérait par une arête unique.

Ce tiroir paraît présenter certains avantages; toutefois, il n'augmente pas la section de l'échappement et constitue un appareil un peu plus encombrant et plus lourd que le tiroir ordinaire.

Beaucoup de locomotives des chemins de fer de l'État sont munies de tiroirs cylindriques ou à piston du type *Ricour*,

qui fonctionnent comme des tiroirs ordinaires, chacun des pistons qui les constituent formant une des barrettes et correspondant à des ouvertures pratiquées sur la circonférence intérieure de la boîte cylindrique dans laquelle ils se meuvent. Ces tiroirs sont *équilibrés*, c'est-à-dire que la pression de la vapeur dans la boîte n'a d'autre effet sur eux que de faire coller contre les parois les segments des pistons constituant les bandes du tiroir.

50. Le **travail de frottement** absorbé par les tiroirs est proportionnel à leur surface et à la différence des pressions qui s'exercent sur leurs deux faces. L'effort qu'il faut produire pour mettre en marche ces tiroirs oblige à donner au mécanisme de distribution des échantillons très robustes et à disposer des appareils de relevage, à vis ou même à vapeur, assez puissants.

Dans le but de diminuer la pression exercée sur les tiroirs par la vapeur et la résistance qu'ils exercent, on a parfois recours à des *compensateurs*, dont l'emploi, général aux États-Unis, ne s'est jamais répandu en Europe.

Ces compensateurs se composent tous essentiellement d'une glace solidaire du couvercle de la boîte, parallèle à la table du tiroir vers laquelle elle est tournée, et où viennent s'appliquer des barrettes, des bagues ou des platines en fonte se mouvant avec le tiroir, à la partie supérieure duquel elles sont fixées, de manière à constituer un joint à la fois étanche et élastique. La partie supérieure de la glace qui est comprise à l'intérieur de ces bagues n'est pas soumise à la pression de la vapeur ; pour éviter que des fuites, très légères même, ne viennent peu à peu rétablir la pression à l'intérieur du compensateur, la capacité centrale de ce dernier est en communication constante avec l'échappement. La surface du tiroir, soumise à la pression de la vapeur, est diminuée de l'aire comprise entre les bagues ou platines constituant les compensateurs.

51. Les **avantages du tiroir ordinaire** résident dans la simplicité de sa construction et dans le petit nombre d'organes nécessaires à sa commande. D'autre part, ses incon-

vénients sont assez nombreux. Il se prête assez mal aux faibles introductions et entraîne un laminage parfois excessif de la vapeur. Il exige des espaces morts assez grands; il n'est pas normalement équilibré et présente une résistance assez considérable. Aussi a-t-on assisté, dans ces dernières années, à un certain nombre d'applications intéressantes de distributions appartenant à des types nouveaux, mais qui sont encore dans la période expérimentale.

Dans un de ces systèmes, breveté par MM. Durant et Lencauchez, appliqué, entre autres, à une quinzaine de locomotives de la Compagnie d'*Orléans* et à deux locomotives express de la Compagnie de l'*Est*, la distribution est effectuée à l'aide de quatre distributeurs du genre Corliss placés aux extrémités du cylindre, deux servant à l'admission et deux à l'échappement. L'espace mort n'est que les 4,5 0/0 du volume des cylindres.

Ces distributeurs sont reliés deux à deux sans déclic et commandés non par une coulisse, mais par deux bielles différentes.

L'autre système, dû à M. Bonnefond, a été appliqué à plusieurs locomotives express des derniers types du réseau de l'*État*. Il comporte des distributeurs plans qui sont à déclic pour l'admission.

Ces systèmes auraient l'avantage de donner des diagrammes se rapprochant davantage des courbes théoriques, c'est-à-dire de diminuer le laminage et d'établir une indépendance plus grande entre les phases de l'admission et de l'échappement; mais, jusqu'à ce qu'ils aient fait leurs preuves, on est en droit de les considérer comme un peu compliqués et délicats pour les locomotives.

52. Le tiroir est entraîné par une tige qui sort de la boîte à vapeur à travers un presse-étoupes semblable à celui de la tige du piston, mais plus petit. Cette tige se prolonge quelquefois, du côté opposé, par une contre-tige servant au guidage et qui coulisse dans une bague fixée à la boîte. S'il n'y a pas de contre-tige, pour assurer le mouvement rectiligne du tiroir, on le guide à l'aide de deux épaulements rabotés et dressés, venus de fonte avec la table, de chaque côté.

Le tiroir doit être relié à sa tige par un procédé qui assure son indépendance dans le sens transversal, afin qu'il puisse s'appliquer en toutes circonstances sur sa glace sous l'action de la vapeur et après usure du tiroir ou de sa table de frottement.

La boîte à tiroir doit comporter un couvercle d'assez grandes dimensions pour permettre le montage, le réglage et la visite du tiroir.

Au dehors, à une distance du presse-étoupes qui varie suivant le type de coulisse et le genre de transmission adoptés, la tige du tiroir traverse un guide, cylindrique ou rectangulaire, fixé soit au fond voisin de la boîte à tiroir, soit aux longerons.

53. **Le mouvement du tiroir** est dérivé de l'essieu moteur au moyen de deux excentriques servant, l'un pour la marche avant, l'autre pour la marche arrière, et d'un mécanisme intermédiaire de commande et de changement de marche. Comme nous l'avons vu ailleurs, le mouvement de la distribution peut être placé au dehors des longerons, quand les cylindres sont à l'intérieur et inversement. Dans les locomotives du type américain, les boîtes à tiroir sont extérieures, et le mouvement est intérieur avec interposition d'un mouvement de renvoi. Les distributions extérieures, très en faveur en France, sont inconnues en Angleterre et aux États-Unis; elles sont un peu plus accessibles, mais se trouvent plus exposées et nécessitent l'addition de contre-manivelles aux boutons des roues motrices.

54. **Excentriques.** — L'excentrique (*fig.* 43 et 44) se compose essentiellement d'un disque A, calé sur l'arbre, et dont le centre est situé à une distance de l'axe de l'arbre égale au *rayon d'excentricité* ou à la demi-course du tiroir, si la commande s'effectue directement, sans intermédiaire de mouvement de renvoi. Ce disque est d'un diamètre tel qu'il déborde l'arbre, du côté diamétralement opposé à son centre, de la quantité voulue pour assurer son calage invariable. Autour de ce disque, appelé *poulie* ou *chariot* d'excentrique, est fixé un *collier* B qui peut tourner sur lui à frottement doux et

fait corps avec la bielle ou barre d'excentrique D. Quand le système tourne, la barre est animée d'un mouvement identique à celui que posséderait une bielle ordinaire articulée sur une manivelle de rayon égal au rayon d'excentricité.

L'excentrique n'est, en somme, qu'une sorte de manivelle dont le maneton serait grossi de manière que l'arbre fût compris à son intérieur ou, autrement dit, dont le rayon serait légèrement supérieur à la somme du demi-diamètre de l'arbre et du rayon d'excentricité.

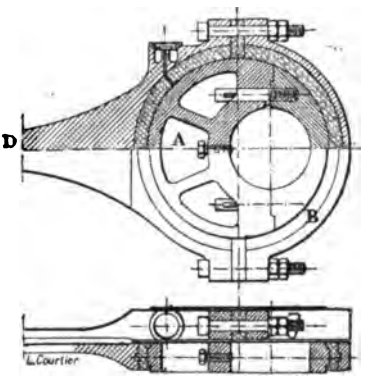


Fig. 43 et 44. — Excentrique.

Les *poulies d'excentrique* se font ordinairement en fonte ; ce métal convient parfaitement pour cet usage, car il est peu coûteux et présente de bonnes surfaces frottantes ; sa ténacité, relativement faible, n'est pas un obstacle à son emploi pour la confection d'un organe qui n'est pas soumis à des chocs répétés et présente toujours, en raison de considérations d'une autre nature, des échantillons supérieurs à ceux que la résistance des matériaux pourrait indiquer.

Quand il n'existe pas, entre l'extrémité de l'arbre et la partie destinée à recevoir l'excentrique, de collet ou de parties en saillie, la poulie d'excentrique peut être en une pièce. Cette poulie est alors alésée à un diamètre légèrement supérieur à celui de l'arbre, entrée à frottement doux sur ce dernier, puis calée au moyen d'une ou de deux clavettes.

Le plus souvent il ne peut en être ainsi, et, pour permettre la mise en place de la poulie, on est obligé de la confectionner en deux pièces, séparées suivant un plan diamétral de l'arbre. Les deux portions, de volume très inégal à cause de l'excentricité de la poulie par rapport à l'arbre, sont alors

réunies par deux boulons transversaux, par des prisonniers, se terminant par des têtes à clavettes, ou par des vis.

Les *colliers* se confectionnent en fonte, en bronze, en fer ou en acier forgé. Dans ce dernier cas, ils sont toujours munis intérieurement d'un garnissage en bronze et portent quelquefois des barres venues de forge. Dans les autres cas, le collier frotte directement sur la poulie, et les barres sont toujours rapportées.

Les colliers en fonte, quand les poulies sont du même métal, ce qui est souvent le cas, présentent un excellent frottement et ne nécessitent aucun garnissage intérieur. Aussi, bien que l'on soit conduit à leur donner une section notablement plus considérable qu'avec le bronze, mais surtout qu'avec le fer ou l'acier forgés, sont-ils les plus économiques. Leur principal inconvénient consiste en ce qu'ils sont exposés à se casser en service sous l'action des échauffements, surtout après brusque refroidissement. Aussi ne les a-t-on jamais employés en France pour les locomotives, par raison de sécurité, malgré les avantages qu'ils présentent d'autre part.

Les colliers en bronze (*fig.* 45) présentent une plus grande solidité, bien que soumis en partie aux mêmes inconvénients; ils ne sont guère plus coûteux que les colliers en fer.

En France, on emploie surtout, pour les locomotives, les colliers en fer ou en acier forgé, qui sont munis d'une bague intérieure en bronze, rapportée, constituant la surface frottante.

Les colliers, nous l'avons dit, doivent être en deux pièces, pour faciliter leur montage et le rattrapage du jeu; ils sont coupés par un plan diamétral, et les deux parties sont réunies par des oreilles que traversent des boulons. Entre les surfaces de contact des deux colliers, on interpose une petite cale en bronze ou en laiton qui sert au réglage et rattrapage de jeu (*fig.* 45).

Le collier est maintenu latéralement sur la poulie de l'excentrique par une rainure tracée intérieurement sur tout son pourtour, à l'intérieur de laquelle pénètre une saillie semblable à la poulie.

Tout collier d'excentrique doit être muni d'un bon sys-

tème de graissage. A cet effet, le collier comporte ordinairement un graisseur à mèche formé par une cavité venue de forge ou de fonte avec le collier, et généralement placé entre l'oreille supérieure et l'attache de la barre.

Les *barres d'excentriques* sont quelquefois venues de forge avec la partie antérieure du collier (*fig.* 43), quand ce der-

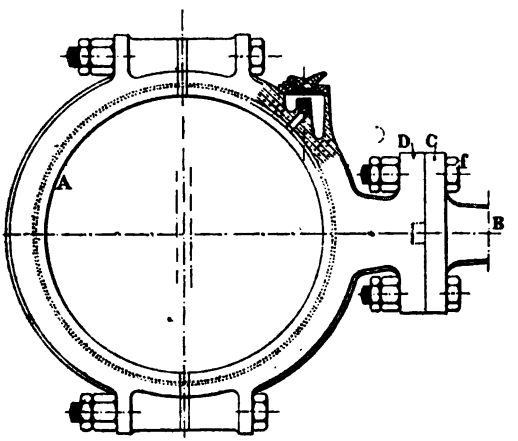


Fig. 45. — Excentrique avec collier en bronze.

nier est en fer ou en acier, si elles sont très courtes. En cas contraire, elles doivent être rapportées. Si alors elles viennent à casser ou se fausser, elles n'entraînent pas le rebut du collier, et inversement. Cette disposition permet, en outre, de constituer le collier et la barre de métaux différents.

Les barres d'excentriques sont toujours, dans les locomotives, de section rectangulaire. Elles se terminent, à une extrémité, par l'embase ou la patte qui sert à les fixer au collier de l'excentrique ; à l'autre extrémité, par un œil ou une fourche articulés à la coulisse. La figure 45 indique un mode de fixation fort usité de la barre sur le collier. La barre B se termine par une embase C réunie à un bossage D du collier A par deux boulons *f*. On interpose une cale pour le réglage.

Les barres se font presque toujours en acier doux forge; quelques Compagnies, cependant, les font en fer cémenté et trempé. L'œil qui s'articule sur la coulisse porte un axe en acier qui est maintenu par un ergot et sert à l'articulation.

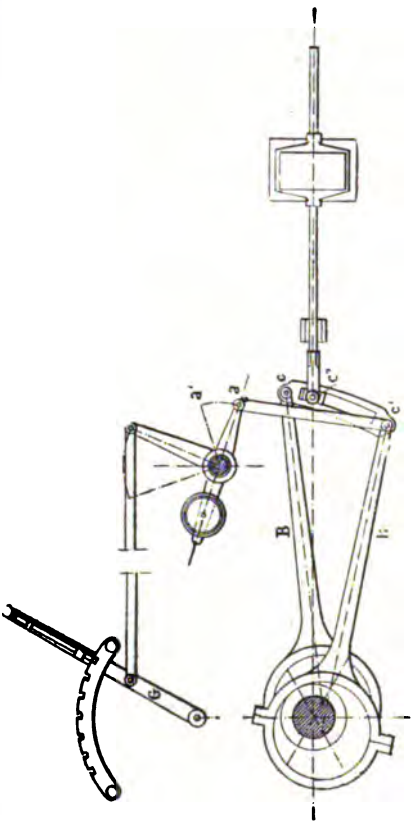


Fig. 46. — Coulisse de Stephetson.

55. **Coulisses de changement de marche.** — Le changement de marche est opéré à l'aide d'appareils, appelés *coulisses*, dont les extrémités sont respectivement articulées aux barres des excentriques correspondant à la marche avant et à la marche arrière.

La figure 46 représente la *coulisse de Stephenson*, la plus généralement employée. Les deux barres B et B′ sont articulées en *c* et *c′* à la coulisse courbe, dont la concavité est tournée vers l'essieu moteur. Cette coulisse est embrassée par une fourche terminant la tige du tiroir et articulée à un coulisseau *c″* placé dans une fente médiane de la coulisse. Une bielle *ac′*, articulée à l'équerre de relevage, en *a*, permet de faire varier la position verticale de la coulisse, lorsque l'on veut modifier le degré d'introduction ou le sens de la marche.

L'axe de la coulisse est un arc de cercle décrit avec un rayon égal à la longueur d'une des barres d'excentriques.

Quand la coulisse est placée de telle sorte que la bielle de l'excentrique de marche avant vient commander le tiroir, la machine tourne dans le sens correspondant. Le contraire se passe, si, la coulisse étant plus relevée, l'excentrique de marche arrière vient à actionner le tiroir. La position moyenne de la coulisse, participant des deux mouvements, est impropre à effectuer la distribution pour un sens quelconque de la marche: c'est le point mort. Quand la coulisse est dans cette position, la machine ne peut démarrer.

Suivant que la coulisse est plus ou moins relevée, et qu'elle attaque la tige du tiroir par un point plus près de son milieu, la machine marche avec plus de *détente*, c'est-à-dire que la course du tiroir est moindre et que la vapeur est admise pendant une période moins longue dans le cylindre. On développe moins de puissance, mais la marche est plus économique.

Avec la coulisse qne nous venons de décrire, lorsque la détente s'accroît, les avances à la compression augmentent aussi dans une large mesure. Aux très petites admissions, la distribution est quelque peu déréglée. Aussi a-t-on cherché à remédier à ces inconvénients en adoptant d'autres systèmes de coulisse.

La *coulisse de Gooch*, la plus répandue après la précédente, employée d'une manière à peu près exclusive par la Compagnie d'*Orléans*, est représentée par la figure 47. La concavité de la coulisse est tournée vers l'avant, et son rayon de courbure est égal à la longueur *e″e′* de la bielle du tiroir. La coulisse est suspendue en son milieu à un point fixe *s*. C'est sur

la tige du tiroir que l'on agit pour changer le sens de la marche ou le degré de détente. Suivant que son coulisseau c' est situé au-dessus ou au-dessous du centre, la machine

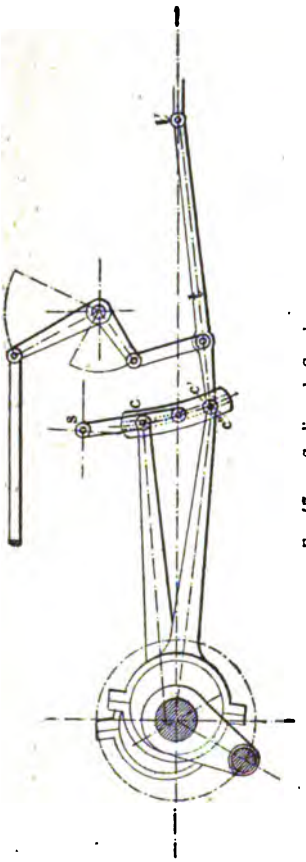


FIG. 47. — Coulisse de Gooch.

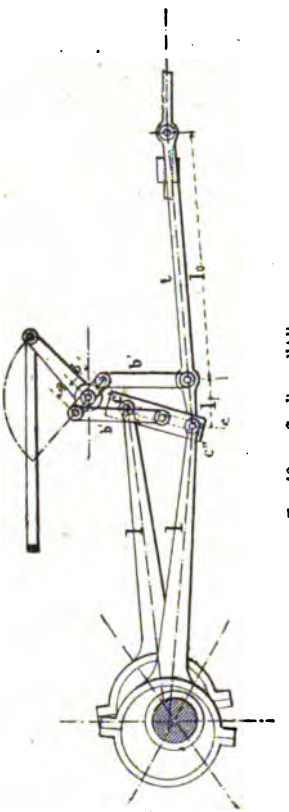


FIG. 48. — Coulisse d'Allan.

tourne en arrière ou en avant. Le centre de la coulisse correspond au point mort. Le degré de détente augmente en raison inverse de la distance du coulisseau au point mort.

Dans ce système, les avances à la vapeur sont constantes

pour tous les degrés de détente. Les masses à mettre en mouvement pour la manœuvre du changement de marche sont plus faibles que dans la coulisse de Stephenson.

Le principal inconvénient de la coulisse de Gooch consiste dans une augmentation du nombre des articulations. Elle demande aussi une plus grande longueur disponible, puisqu'il faut interposer entre la coulisse et la tige du tiroir la bielle *e'e'*.

La *coulisse d'Allan* est un intermédiaire entre les deux systèmes précédents (*fig.* 48). La coulisse *cc'* est mobile verticalement, comme dans le système Stephenson, mais d'une quantité beaucoup moindre, car elle commande une bielle *t* sur laquelle le même mécanisme de relevage agit aussi comme dans la distribution de Gooch. Cette double action, opérée à l'aide des deux bielles de relevage *b'*, permet de donner à la coulisse une forme rectiligne qui simplifie un peu sa construction. On retrouve ces systèmes de distribution sur un certain nombre d'anciennes express de la Compagnie de l'*Ouest*.

Certains mécanismes de distribution permettent de réaliser le changement de marche sans qu'il soit nécessaire d'avoir recours à un second excentrique. Tel est, par exemple, le système *Welschaërt*, à peu près uniquement adopté en Belgique et de plus en plus répandu en France où on le retrouve sur un grand nombre de machines appartenant à presque toutes les Compagnies (*fig.* 49).

Le tiroir reçoit son mouvement à la fois d'une coulisse à point de suspension invariable, actionnée en B par une bielle articulée en *c* à la tige du tiroir, en D à la tige du piston et en *o* à la bielle *t*, dont le coulisseau se déplace sous l'action de la bielle de relevage *d*. Les avances sont constantes, comme dans le système de Gooch.

Cette distribution présente un assez grand nombre d'articulations, mais elle est très commode pour les machines à cylindres extérieurs. Elle n'exige qu'un excentrique et permet de placer les tiroirs horizontalement au-dessus des cylindres.

Il existe aussi des distributions *sans excentrique*, le mouvement du tiroir étant dérivé à la fois de la tige du piston et

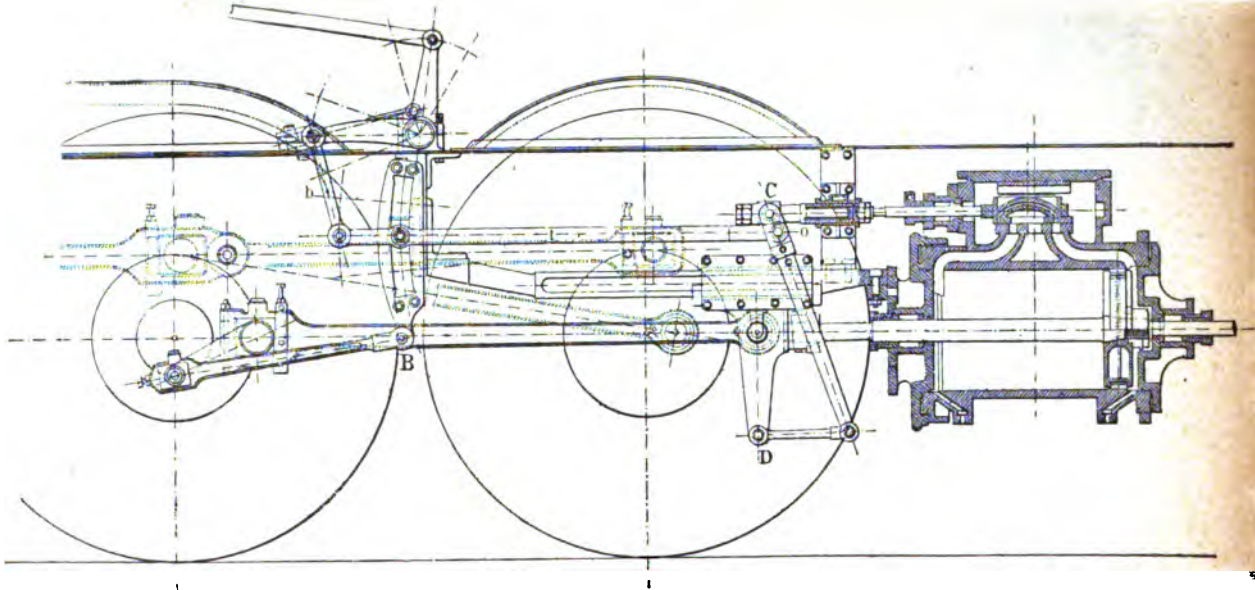


Fig. 49. — Distribution Welschaërt.

de l'oscillation transversale de la bielle motrice. La distribution *Joy* est la plus connue de cette classe ; elle n'a été appliquée en France que par la Compagnie d'*Orléans* à ses machines de la ligne de Sceaux. La Compagnie de l'*Ouest* a appliqué à ses machines à bogie une distribution sans excentrique qui a très bien fonctionné.

Les distributions sans excentriques ont l'avantage, lorsqu'elles sont extérieures, de ne pas exiger de contre-manivelles, et, lorsqu'elles sont intérieures, de dégager le mécanisme et de faciliter l'accès des têtes de bielle.

56. Mode de construction des coulisses. — La coulisse fendue, telle qu'elle est représentée plus haut, est la plus simple de construction; elle se compose d'une pièce unique, formée, puis découpée et dressée à l'outil. Elle est uniquement employée en Angleterre et aux États-Unis.

On peut reprocher à cette coulisse de donner lieu à quelques perturbations et à un glissement longitudinal du coulisseau, les points d'articulation des barres et des bielles de relevage ne se trouvant pas suivant l'axe médian de la coulisse. On peut y remédier en ce qui concerne les bielles de relevage ; mais, à moins d'une grande complication, on ne saurait le faire pour les barres, à moins de reporter leurs articulations aux bouts du secteur et d'augmenter proportionnellement le rayon d'excentricité, puisque le coulisseau, lorsqu'il est aux extrémités de la coulisse, ne peut avoir qu'une course réduite.

Cet inconvénient a fait préférer en France et sur presque tout le continent, la coulisse à deux flasques, qui se compose de deux parties symétriques par rapport à son plan longitudinal médian, composées chacune d'une pièce en section à I, portant, de forge, les boutons d'articulation des bielles d'excentrique et de relevage situés tous trois suivant l'axe transversal de la coulisse (*fig.* 50 à 52). Les bielles d'excentriques sont à fourche, et la tige du tiroir se termine par une tête plate à œil qui pénètre entre les deux flasques et porte un tourillon sur lequel viennent se fixer les coulisseaux.

Les coulisses se font en acier ou en fer forgé, cémenté,

trempé et rectifié. Les coulisseaux sont généralement en acier assez dur ou en fer cémenté et trempé.

Dans les coulisses fendues, les axes d'articulation des têtes de barres d'excentriques sont fixés à demeure à ceux-ci et tournent à l'intérieur de trous ménagés dans la coulisse

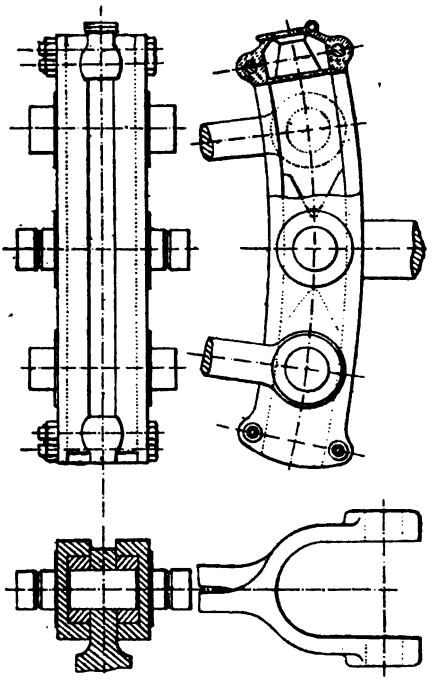


Fig. 50 à 52. — Coulisse ordinaire.

et garnis de bagues en acier dur que l'on change après usure. Quand la coulisse est à deux flasques, les tourillons, étant venus de forge avec elles, tournent dans les œils des barres, qui sont également munies de bagues rapportées.

57. Transmission du mouvement au tiroir. — La meilleure transmission de mouvement des coulisses à la tige du tiroir

est la plus directe. Quand on le peut, avec la distribution Stephenson, on monte directement les coulisseaux sur l'extrémité de la tige du tiroir, portant un œil à cet effet et maintenue par un guide. On ne peut toujours appliquer ce dispositif, soit à cause de l'inclinaison particulière donnée à la table du tiroir, soit parce que les tiroirs sont à l'extérieur, alors que les coulisses sont à l'intérieur des longerons. Dans le premier cas, on est conduit à interposer entre la coulisse et la tige du tiroir un balancier vertical oscillant autour d'un point fixe solidaire du châssis. Dans le second, on établit un arbre de renvoi intermédiaire constituant une sorte de mouvement de sonnette. On doit alors caler les excentriques à 180° de leur position normale, le mouvement du tiroir étant renversé.

Cette disposition d'arbre de renvoi est quelquefois appliquée aux machines à cylindres et distribution intérieurs, quand on veut placer les tiroirs au-dessus des cylindres (anciennes express de l'*Ouest*). Les distributions du type Welschaërt ou sans excentrique permettent de placer les tiroirs dans cette position sans l'addition d'aucun mécanisme intermédiaire.

58. Changement de marche et relevage. — Un mécanisme spécial à la main du mécanicien permet de modifier à tout instant la position des coulisses et, par conséquent, le degré d'admission dans les cylindres ou le sens de la marche. Ce mécanisme se compose d'un arbre transversal, situé au-dessus ou au-dessous des coulisses (*fig.* 53) qu'il commande au moyen de bras et de bielles articulées, appelé *arbre de relevage*, dont la position angulaire est réglée à l'aide d'un appareil à levier ou à vis, situé à l'arrière sur la plate-forme, et par l'intermédiaire d'une barre de relevage.

Autrefois, le changement de marche était toujours commandé par un levier, se mouvant le long d'un secteur denté, et maintenu dans la position désirée par une clichette à ressort. Ce système est encore employé en Angleterre et surtout en Amérique. En France et sur le Continent européen, on préfère aujourd'hui le changement à vis. La barre de relevage vient s'articuler sur une vis horizontale ou légèrement inclinée placée à droite du foyer, à l'arrière.

maintenue entre de petits paliers solidaires, soit des longerons, soit de la chaudière. Comme cet écrou ne peut tourner, il est poussé vers l'avant ou vers l'arrière, suivant le sens dans lequel le mécanicien imprime à la vis, à l'aide d'un volant calé sur son extrémité arrière, un mouvement de rotation de droite à gauche ou de gauche à droite. Cet écrou entraîne avec lui la barre et tout le mécanisme de relevage. Une fois les coulisses parvenues dans la position que l'on voulait leur donner, on fixe le tout à l'aide d'un verrou coulissant dans un des bras du volant de manœuvre.

L'écrou est solidaire d'un index qui se meut avec lui le long d'une règle en laiton graduée, placée sous les yeux du mécanicien, au-dessus de la vis, et dont les graduations correspondent approximativement au degré d'admission en centièmes.

Le levier présente certains avantages en ce qu'il permet, quand les tiroirs n'offrent pas à l'action de la vapeur une très grande surface, par conséquent n'exigent pas, pour être manœuvrés, un déploiement excessif de force musculaire, de changer plus rapidement la marche ; il est, en outre, plus simple et moins coûteux. Toutefois, il ne suffit plus dans les fortes machines et présente quelque danger, le levier pouvant, sous l'action assez brusque des coulisses, s'il vient à se déclencher, frapper le mécanicien et le blesser grièvement.

Le poids des coulisses ou, avec le système Gooch, des bielles de tiroir, est équilibré au moyen d'un contrepoids solidaire d'un bras venu de forge avec l'arbre de relevage, ou quelquefois par un ressort à lame ou héliçoïdal enroulé autour d'un point de cet arbre. Néanmoins, dans les très fortes machines, la manœuvre des coulisses peut demander un effort trop considérable, et quelques Compagnies ont adopté des changements de marche à vapeur. La Compagnie *Paris-Lyon-Méditerranée* emploie le changement de marche à *contrepoids de vapeur;* la barre est entraînée par le mouvement d'un petit piston auxiliaire monté dans un cylindre, placé suivant le prolongement de l'axe de la vis de changement de marche, qui ne sert qu'à contrôler l'appareil, la position des coulisses ne pouvant être modifiée que si le mécanicien tourne cette

vis dans un sens ou dans l'autre ; cet agent n'a toutefois à déployer aucun effort musculaire. Le piston auxiliaire est mû par la vapeur, et la distribution y est opérée à l'aide d'un petit tiroir qu'actionne une transmission commandée par le déplacement préalable du volant de manœuvre à main, qui peut se déplacer légèrement sur l'axe de la vis dans le sens de la longueur. Dans ce système, le verrouillage est opéré par la vis secteur à verrou du volant.

La Compagnie de l'*Ouest* a appliqué à un certain nombre de locomotives express un système différent dans lequel le verrouillage était obtenu à l'aide d'un piston spécial solidaire du piston moteur de l'appareil, se mouvant dans un cylindre rempli d'huile. Tant que l'huile ne peut passer d'une extrémité à l'autre du cylindre, aucun mouvement n'est possible. Un petit robinet spécial permet cette communication au cours des manœuvres.

59. L'ensemble du mécanisme d'une locomotive express de la Compagnie d'*Orléans*, que nous donnons dans la figure 53, est un bon exemple d'un type de mouvement entièrement extérieur appliqué en France à un grand nombre de locomotives. On y retrouvera à première vue tous les organes que nous avons décrits plus haut : bielles motrices, glissières, crosses de tige de piston, excentriques, coulisses, arbre de relevage, etc...

Les machines considérées sont des cylindres de $0^m,440$ de diamètre et de $0^m,650$ de course ; la longueur des bielles motrices est de $1^m,800$, et l'écartement des cylindres, d'axe en axe, de $1^m,900$. Les excentriques sont calées à 120° des manivelles et présentent un rayon d'excentricité de $0^m,055$.

60. Détente variable. — Les coulisses servent non seulement à changer le sens de la marche, mais elles jouent encore dans la conduite de la machine un autre rôle non moins important, qui est de permettre l'usage de la détente variable pour régler la vitesse ou la puissance développée.

Lorsque, le changement de marche étant à fond de course, les tiroirs sont commandés par les extrémités des coulisses, leur course est maximum : ils découvrent davantage les lu-

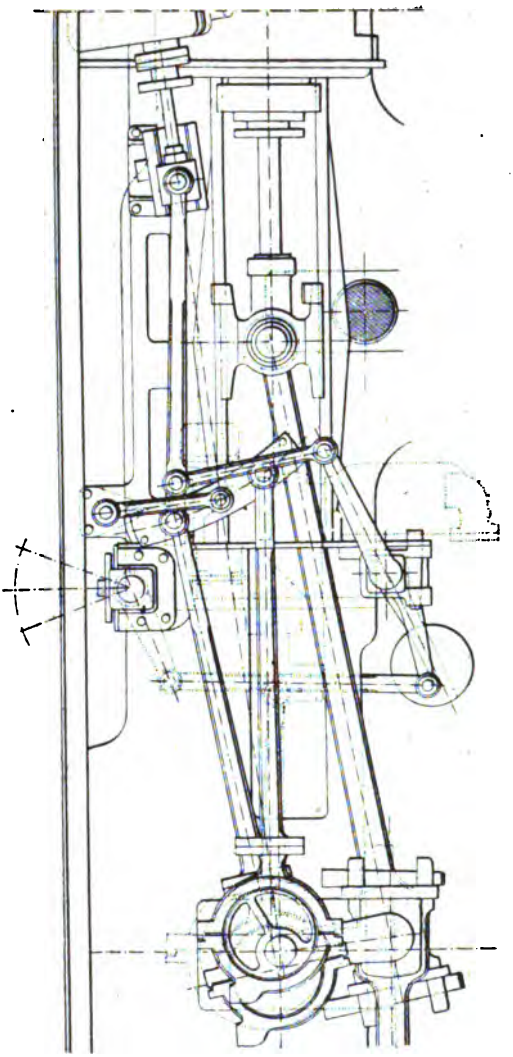


FIG. 53. — Ensemble de mécanisme extérieur.

mières et les referment plus tard; l'admission atteint sa plus grande valeur, soit de 65 à 85 0/0, suivant le réglage des distributions. C'est la position de départ, celle qui permet le démarrage dans toutes les positions des manivelles — un des cylindres au moins se trouvant toujours en admission — et donne le plus grand effort sur les manivelles, la vapeur ne se laminant que très peu au passage des lumières. On peut ainsi profiter, pour le démarrage, de la totalité de l'adhérence, le volume des cylindres étant déterminé en conséquence. Une fois le train ébranlé, on n'a plus besoin d'un effort moteur aussi grand et, en conservant une admission aussi forte, on n'aurait plus une marche assez économique. En fermant partiellement le régulateur, on réduirait bien l'effort moteur, par suite de la diminution de la pression à l'intérieur de la boîte à tiroir, mais on perdrait le travail de la détente. En remontant les coulisses ou, pour employer une expression plus générale, en rapprochant le coulisseau du centre d'oscillation de la coulisse, on diminue la course du tiroir, par conséquent l'ouverture des lumières et la période d'introduction. La vapeur se détend davantage et, pour une consommation donnée, on recueille un travail plus grand. Il est vrai que l'on produit aussi un certain dérèglement des phases de la distribution, puisque les avances et la compression augmentent avec le degré de détente, du moins pour la coulisse de Stephenson, mais néanmoins l'avantage subsiste.

La plupart des mécaniciens de nos grandes lignes ont l'habitude de mettre la marche, une fois en vitesse, entre les crans 1 et 2, correspondant à des admissions fictives de 10 à 20 0/0, le régulateur étant à peu près grand ouvert. En rampe, on augmente l'introduction.

61. Marche à régulateur fermé. — Dès que, le train étant en mouvement, on ferme le régulateur, soit pour se préparer à un arrêt, soit pour la descente d'une pente, le changement de marche doit être placé à fond de course, dans la position correspondant à l'admission maximum. Tous les mécaniciens savent que, lorsqu'il en est ainsi, la machine court beaucoup mieux. Ce fait provient de ce que, quand le

régulateur est fermé, et que la machine se meut sous l'impulsion de la vitesse acquise, le piston fait le vide derrière lui, d'abord dans la boîte à tiroir et le tuyau de vapeur, pendant la période correspondant à l'admission. Ce vide est beaucoup plus prononcé pendant la phase correspondant à la détente, puisque la capacité totale est plus faible, les barrettes du tiroir interrompant la communication entre le cylindre et la boîte à tiroir. Le vide sera d'autant plus complet, et la résistance rencontrée par le piston d'autant plus grande, que la période de détente sera plus prononcée, c'est-à-dire que les coulisses seront plus relevées.

Cette aspiration du piston causant, d'autre part, pendant la période de l'échappement anticipé, une succion des gaz chauds de la boîte à fumée et des escarbilles, appelés par le tuyau d'échappement, on a tout intérêt à réduire l'avance à l'échappement, qui diminue avec le rapport de détente. Ces gaz échauffent les surfaces frottantes, brûlent ou vaporisent les huiles de graissage, ce qui peut entraîner des grippages que vient encore augmenter la présence des escarbilles entraînées par les produits de la combustion.

On doit y remédier, en tous cas, par un graissage beaucoup plus énergique pendant la marche à régulateur fermé. Dans beaucoup d'anciennes machines même, on ne pouvait graisser les cylindres qu'à ce moment.

62. Robinets purgeurs. — Ces robinets, placés aux deux bouts du cylindre, en leur point le plus bas (*fig.* 20), ont pour but de permettre l'écoulement au dehors de l'eau, provenant soit des entraînements dus à une ébullition dans la chaudière, soit des condensations, qui peuvent s'accumuler dans le cylindre et entraîner des *coups d'eau* capables de défoncer les plateaux et de fausser les tiges de piston. L'accumulation de l'eau dans les cylindres est surtout à craindre pendant les longs stationnements, si le régulateur fuit un peu et au moment du démarrage, parce que les entraînements d'eau se produisent surtout alors et que, les cylindres étant froids, la condensation y est plus énergique.

Ces robinets doivent donc être ouverts pendant les stationnements et, au départ, après un stationnement de quelque

durée. Les mécaniciens doivent cependant s'abstenir, à moins de nécessité absolue, d'ouvrir ces robinets dans les gares dès que le régulateur est ouvert, le bruit que fait la vapeur en s'échappant étant gênant pour le public et les agents.

Les robinets purgeurs sont reliés entre eux, des deux côtés de la machine, par des tringles articulées ou des axes et peuvent être mus par une commande à la main du chauffeur.

63. Graissage des cylindres et tiroirs. — Les cylindres et tiroirs ont besoin d'être graissés, sous peine d'usure anormale et de grippage de leurs surfaces frottantes. Ce graissage, assez nécessaire quand le régulateur est ouvert, devient indispensable dès qu'il est fermé en marche, la vapeur, assez humide, ne venant plus lubrifier les surfaces. Dans la marche à régulateur fermé, le piston aspirant, pendant la période d'échappement anticipé, les gaz chauds et mélangés de fines escarbilles de la boîte à fumée, il se produirait des échauffements et des grippages des tables de tiroir, des parois intérieures du cylindre et des segments de piston.

Pendant longtemps, on s'est contenté, sur beaucoup de réseaux, de graisser seulement pendant la marche à régulateur fermé, ce graissage présentant moins de difficulté que pendant la marche sous pression, parce que l'huile, au lieu d'être refoulée par la pression, était aspirée par le vide partiel produit à l'intérieur du cylindre au cours de la phase correspondant à la détente, lorsque le régulateur est ouvert.

A l'origine, les graisseurs employés se composaient simplement d'une sorte d'entonnoir, muni d'un robinet, par lequel on introduisait l'huile dans les cylindres ou les boîtes à tiroir, pendant les stationnements. Plus tard, afin de pouvoir graisser pendant la marche à régulateur fermé sans que le mécanicien ou le chauffeur soient obligés d'aller à l'avant sur le tablier, on a reporté les graisseurs à l'arrière contre l'écran, et on a établi leur communication avec la boîte à tiroir à l'aide d'un petit tuyau incliné dans lequel descendait l'huile, aspirée par le piston. En remplaçant le graisseur à entonnoir par le graisseur à boules, comportant un second robinet placé au-dessus du réservoir d'huile, on a pu arriver à grais-

ser en cours de route, la matière lubrifiante n'étant plus refoulée au dehors par la pression intérieure. Toutefois, l'huile coulait généralement assez mal le long de ces petits tuyaux de trop faible diamètre et pénétrait rarement dans les boîtes à tiroir, lorsque le régulateur était ouvert, l'aspiration de l'huile ne se produisant que pendant la marche à régulateur fermé. Pour remédier à cet inconvénient, on a eu l'idée d'établir, au moyen d'un robinet spécial, une communication entre le dessus du bain d'huile et la chaudière, de manière que la matière lubrifiante puisse être refoulée dans les boîtes à tiroir lorsque le régulateur est ouvert. Cette disposition empêche aussi les petits tuyaux de se boucher, les obstructions pouvant être chassées par le courant de vapeur.

Depuis quelques années, on semble préférer, en général, les *graisseurs à déplacement* et les *graisseurs mécaniques*.

Les premiers se composent essentiellement d'un réservoir rempli d'huile dans lequel s'écoule peu à peu de l'eau provenant de la condensation de la vapeur, qui déplace cette huile, laquelle, étant plus légère, surnage et se trouve refoulée progressivement dans un petit tuyau aboutissant dans le tuyau de vapeur. L'huile se mélange intimement à la vapeur qui l'entraîne mécaniquement sur les surfaces à graisser. Ces appareils sont issus du graisseur *Consolin* employé dans la Marine. Le mécanicien peut, à l'aide d'un robinet, régler le débit de l'huile; dans certains d'entre eux, il peut, en outre, en contrôler constamment l'écoulement à l'aide d'un tube en cristal, rempli d'eau, que traversent les gouttes d'huile se rendant vers les cylindres. Ces graisseurs sont dits à gouttes visibles. Les appareils de ce genre, surtout appliqués en Angleterre et aux États-Unis, sont ordinairement placés dans l'abri sous les yeux du mécanicien et communiquent avec les cylindres par un tuyau de faible diamètre.

En France, on emploie des appareils analogues, mais qui sont placés directement sur les boîtes à tiroir, sans tuyau de conduite. Tel est, par exemple, le graisseur Meyer employé par la Compagnie de l'*Est* et essayé par la Compagnie de l'*Ouest*. Ce graisseur est, en outre, muni d'un dispositif permettant l'admission de l'huile aux cylindres pendant la marche à régulateur fermé.

Les nouvelles express des Compagnies du *Nord* et de *Paris-Lyon-Méditerranée* sont munies de graisseurs *mécaniques*, dits graisseurs *suédois* ou *Drevdal*. Chacun de ces appareils se compose d'un corps de pompe à l'intérieur duquel peut descendre lentement un piston refoulant goutte à goutte l'huile qu'elle contient dans le tuyau de vapeur ou à l'intérieur des boîtes à tiroir. Le mouvement de descente du piston est assuré par une vis, disposée suivant son axe, et dont le mouvement de rotation est obtenu par une petite transmission dérivée par exemple d'un des organes de la distribution, au moyen d'un mouvement à rochet. L'enfoncement du piston se produit régulièrement tant que la machine est en mouvement, et l'huile est chassée du corps de pompe dans les cylindres, que le régulateur soit ouvert ou fermé.

On graisse les cylindres soit avec un mélange d'huile de colza et de suif, soit d'huile minérale et de colza, soit d'huile minérale pure. Cette dernière est aujourd'hui presque partout préférée, surtout à cause de son prix peu élevé.

Les locomotives de quelques Compagnies sont munies de graisseurs spéciaux automatiques pour la marche à régulateur fermé; l'huile est normalement contenue dans un petit réservoir, d'où elle ne peut s'échapper dans le cylindre qu'à travers un petit clapet que soulève le vide créé par l'aspiration du piston.

64. Régulateur. — Le régulateur, bien que solidaire de la chaudière, est, en réalité, un organe accessoire du mécanisme, c'est pourquoi nous le décrivons ici. Il sert, ainsi que son nom l'indique, à interrompre ou à régler suivant les besoins l'admission de la vapeur dans les boîtes à tiroir. Il remplit, en somme, l'office d'un robinet qui serait placé sur le tuyau de vapeur et qu'il remplace avantageusement.

Il y a de nombreuses variétés de régulateurs; nous nous contenterons de rappeler le principe de ceux qui sont le plus répandus. Dans tous ces systèmes, le régulateur se compose essentiellement d'un tiroir plan, généralement à deux orifices, capable de se mouvoir, sous l'action d'une transmission, à la main du mécanicien, sur une glace de même forme et comportant des lumières semblablement disposées. Le tiroir est

appliqué par la pression de la vapeur sur sa glace, ce qui assure son étanchéité. Quand les pleins du tiroir correspondent aux lumières de la table, la vapeur ne peut passer dans le tuyau allant aux cylindres, qui communique avec le dessous de celle-ci. L'écoulement se produit dès que les vides se correspondent et s'effectue d'autant plus abondamment que ces lumières sont plus ouvertes. Quand le régulateur est ouvert en grand, la pression dans la boîte à tiroir peut atteindre, à quelques centièmes près, celle qui règne à l'intérieur de la chaudière. En ouvrant modérément le tiroir du régulateur, on gêne l'écoulement de la vapeur; celle-ci se lamine, et la pression dans la boîte à tiroir devient très inférieure à celle qui règne dans la chaudière, le travail effectué avec une admission donnée est moindre, et la machine se meut plus lentement.

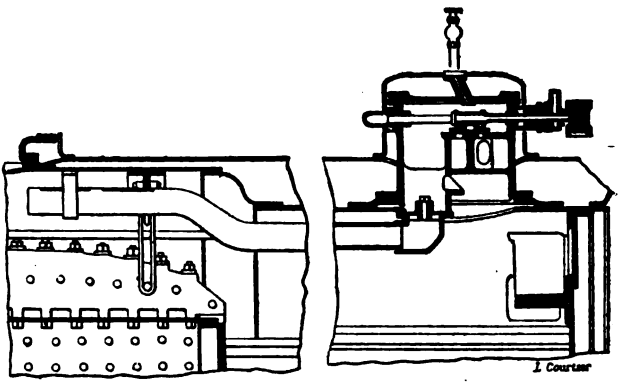


Fig. 54. — Régulateur Crampton.

Le régulateur le plus employé en France à une certaine époque est celui dit *Crampton*, qui convient surtout pour les locomotives dont les cylindres sont placés vers le milieu du corps cylindrique. Ce régulateur (*fig.* 54) est placé dans une boîte surmontant le corps cylindrique et communiquant par des tuyaux extérieurs avec les boîtes à tiroir. La chambre supérieure du régulateur, à l'origine, dans les machines Crampton qui n'avaient pas de dôme, était alimentée de vapeur par un

tuyau intérieur placé à la partie haute du corps cylindrique et percé de nombreux trous pratiqués sur sa génératrice seulement. La vapeur était ainsi prise à la partie supérieure de la chambre de vapeur et, comme elle se répartissait sur une grande surface, elle avait peu de tendance à déterminer des ébullitions ou des entraînements d'eau. Aujourd'hui, on préfère ajouter un dôme, à la partie supérieure duquel aboutit le tuyau alimentant de vapeur la boîte du régulateur.

La plupart des machines de l'*Ouest*, construites avant 1888, comportaient un régulateur semblable, mais dont la boîte s'adossait à l'avant du dôme.

Le tiroir du régulateur Crampton est mis en mouvement par une tringle longitudinale, parallèle à l'axe de la chaudière et placée au-dessus de celle-ci, où elle est guidée par de petits supports. Le mécanicien l'actionne au moyen d'un grand levier recourbé placé au-dessus du foyer.

Pour les machines dans lesquelles les cylindres sont situés à l'avant, par le travers de la boîte à fumée, et c'est le cas de l'immense majorité des locomotives, on préfère aujourd'hui les régulateurs à tuyaux intérieurs, sortant de la chaudière à la partie supérieure de la plaque tubulaire, et contournant la boîte à fumée (*fig.* 55). Le tuyau placé à l'intérieur de la chaudière se relève en col de cygne dans le dôme et porte à sa partie supérieure une glace verticale, horizontale ou inclinée, sur laquelle se meut le tiroir du régulateur. Celui-ci est actionné par une tringle de manœuvre, intérieure ou extérieure à la chaudière, et sur laquelle on agit, suivant les cas, soit en la faisant tourner, soit en l'actionnant dans le sens de sa longueur. Cette tringle sort du dôme ou de la chaudière par sa face postérieure, à travers un presse-étoupes.

Les tuyaux de vapeur sont placés dans la boîte à fumée. Ce type de régulateur, comportant de nombreuses variantes, est actuellement le plus employé en France et le seul adopté à l'étranger.

Le tiroir du régulateur, subissant, lorsqu'il est fermé, la pression de la vapeur sur sa face supérieure, présente une certaine résistance à laquelle il faut ajouter le frottement des articulations ou des garnitures; aussi est-il nécessaire

que le rapport des bras de leviers de la manette de commande soit assez considérable ; encore le mécanicien doit-il parfois, à la mise en route, déployer un effort musculaire assez grand.

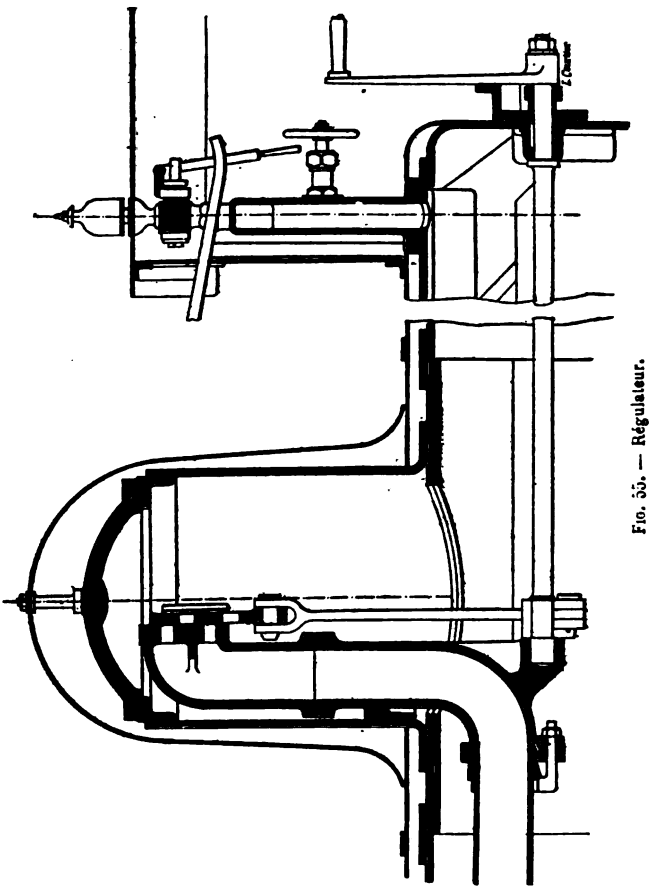


Fig. 55. — Régulateur.

On y remédie en partie en disposant, sur le dos du tiroir du régulateur, un autre tiroir beaucoup plus petit, à simple orifice, solidaire du mouvement de commande, et qui se met

seul en mouvement lorsque le mécanicien pousse le levier d'une certaine quantité, un jeu convenable étant ménagé dans le mécanisme de commande du tiroir principal. Dès lors, la vapeur s'introduit à l'intérieur du tuyau de vapeur allant aux cylindres, et le tuyau de vapeur principal se trouve dégagé de la pression tendant à le coller sur sa glace. La section donnée à la lumière du petit tiroir est suffisante pour permettre l'écoulement de la vapeur soit pendant les manœuvres, soit lorsque la machine n'a pas à développer toute sa puissance.

En Amérique, on remplace le tiroir du régulateur par une soupape équilibrée placée à l'orifice supérieur du col de cygne. La manœuvre se trouve facilitée par la moindre résistance, mais on doit munir le levier de commande d'une clichette à ressort s'engageant sur la denture d'un secteur fixe et destinée à empêcher le régulateur de se fermer ou de s'ouvrir intempestivement.

Le régulateur n'est pas le seul moyen dont le mécanicien puisse se servir pour commander la dépense de vapeur, par conséquent la puissance développée ou la vitesse. Nous avons vu ailleurs que les coulisses remplissaient aussi ce but et que c'était surtout par la manœuvre appropriée du changement de marche que l'on réglait, en cours de route, l'allure de la machine.

Le régulateur pouvant n'être pas parfaitement étanche, et se trouvant parfois sujet à s'ouvrir intempestivement, sous l'action d'un choc par exemple, on exige que les mécaniciens, lors d'un stationnement prolongé et surtout s'ils doivent quitter leur machine, mettent le changement de marche au point mort et ouvrent les purgeurs, ce qui empêche la vapeur de s'accumuler dans les boîtes à tiroir ou les cylindres jusqu'à ce qu'elle atteigne une pression suffisante, en cas de fuite au régulateur, pour déterminer le déplacement des pistons.

CHAPITRE IV

LE VÉHICULE

65. Nous avons considéré jusqu'ici **la locomotive comme un moteur à vapeur**, il nous faut maintenant l'examiner en tant que **véhicule** appelé à circuler sur les rails.

La chaudière et les cylindres reposent, par l'intermédiaire d'un châssis, des ressorts, des boîtes à huile et de différents organes accessoires, sur des roues dont les essieux sont accouplés en totalité ou en partie. Chacun de ces essieux porte une fraction du poids de la machine, qui peut s'élever jusqu'à 15 ou 16 tonnes (et même exceptionnellement, à l'étranger, jusqu'à 19 tonnes) pour les essieux moteurs. Les essieux qui ne sont pas entraînés par le mouvement des pistons sont dits *porteurs;* ils servent à porter l'excédent de poids, non adhérent, qui n'est pas utilisé pour la propulsion de la machine et du train, mais qui provient du développement de la chaudière, du mécanisme moteur ou des accessoires. Ces essieux peuvent être reliés d'une manière rigide au châssis, ou jouir d'une certaine convergence et d'un déplacement latéral; ils peuvent être isolés ou groupés par deux, de manière à constituer un truck articulé ou bogie. On les place de préférence à l'avant; mais, dans beaucoup de machines, ils se trouvent à l'arrière. D'autres locomotives ont leurs roues accouplées disposées entre des roues porteuses.

66. Châssis. — Le châssis (*fig.* 56 à 59) se compose de deux flasques longitudinales L appelées *longerons*, parallèles à l'axe de la machine et reliées entre elles par des entretoises et les traverses d'attelage avant et arrière. Ces longerons servent à maintenir le parallélisme des essieux, à reporter sur les

boîtes, par l'intermédiaire des ressorts, la charge de la chaudière et des cylindres ; ils ont, en outre, pour but de maintenir les cylindres et l'essieu moteur dans leurs positions relatives, et à jouer le rôle de bâti, la locomotive étant considérée simplement comme une machine à vapeur ordinaire.

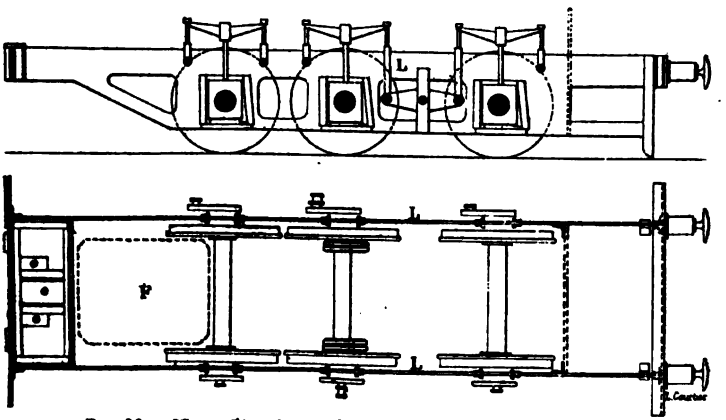


Fig. 56 et 57. — Élévation et plan d'un châssis à longerons extérieurs.

Les longerons sont disposés intérieurement ou extérieurement aux roues. La première disposition est la plus répandue et de beaucoup ; la seconde se retrouve néanmoins sur beaucoup de locomotives belges et anglaises et, en France, plus particulièrement sur les locomotives express du type Outrance, de la Compagnie du *Nord*, ainsi que sur les anciennes machines à voyageurs du réseau de l'*Ouest* (*fig.* 56 et 57).

Les longerons extérieurs ont l'avantage de donner un peu plus de largeur disponible pour l'installation du foyer et de faciliter la surveillance et le graissage des boîtes. D'autre part, ils sont souvent difficiles à entretoiser, surtout si les roues sont de grand diamètre, les entretoises ne pouvant exister au droit des roues. On ajoute souvent, au milieu, un longeronnet placé suivant l'axe, reliant les cylindres à une entretoise située à l'avant du foyer et portant une boîte pour l'essieu moteur. Parfois même, on dispose une seconde

paire de longerons intérieurs, parallèles aux premiers ; c'est la disposition des express du Nord et de plusieurs machines anglaises (*fig.* 58). Les roues motrices sont ainsi embrassées par deux longerons et chargées de chaque côté, leurs essieux possédant quatre fusées, deux intérieures et deux extérieures, celles-ci, d'ailleurs, plus longues. Cette disposition donne quelque sécurité, puisque, si l'essieu coudé venait à casser vers le milieu, les roues se trouveraient maintenues en place et guidées par les fusées situées de part et d'autre. Toutefois, elle complique notablement la construction et augmente très sensiblement le poids de la machine, aussi est-elle peu à peu abandonnée.

Quand les longerons sont extérieurs, l'accouplement ne peut plus se faire directement par des boulons calés sur les bras des roues ; on l'opère à l'aide de manivelles montées aux extrémités des fusées.

Les longerons intérieurs s'entretoisent aussi facilement que l'on veut, ils ne nécessitent l'addition d'aucun autre longeronnet. Toutefois, dans beaucoup de locomotives à adhérence partielle, les fusées des essieux porteurs sont extérieures ; on ajoute alors, de chaque côté, un longeronnet extérieur pour les boîtes de cet essieu. Une telle disposition est employée par exemple, pour l'essieu porteur arrière dans les machines mixtes du *Nord* et pour les express de l'*Orléans* (*fig.* 59) et de l'*État ;* elle est nécessitée par la proximité du foyer, qui ne permet guère d'installer les boîtes de cet essieu entre les roues.

Les longerons se font en tôle d'acier de 28 à 30 millimètres d'épaisseur, d'une seule pièce. Ils sont élégis par des ouvertures généralement utilisées pour le passage des boîtes à huile. Ils doivent être rigoureusement parallèles et montés avec le plus grand soin. On doit les entretoiser aussi solidement que possible, sans augmenter leur poids outre mesure, la rigidité du châssis étant nécessaire à sa durée. L'insuffisance d'entretoisement amène des flexions qui fatiguent les longerons, les essieux ou les organes du mécanisme et sont une cause de détérioration rapide.

Aux États-Unis, en ce qui concerne les nombreuses machines construites en ce pays pour les colonies et l'Amérique

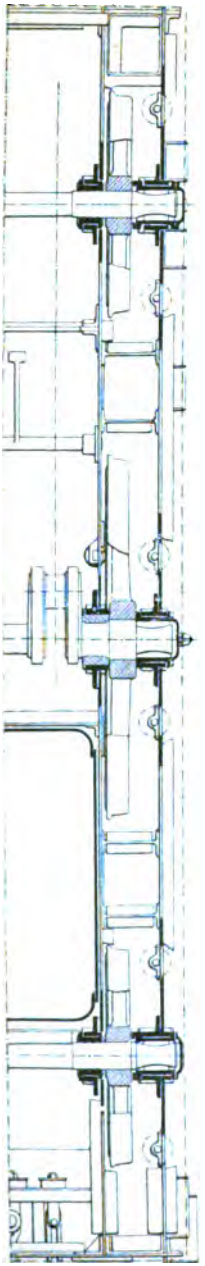


FIG. 58. — Châssis double.

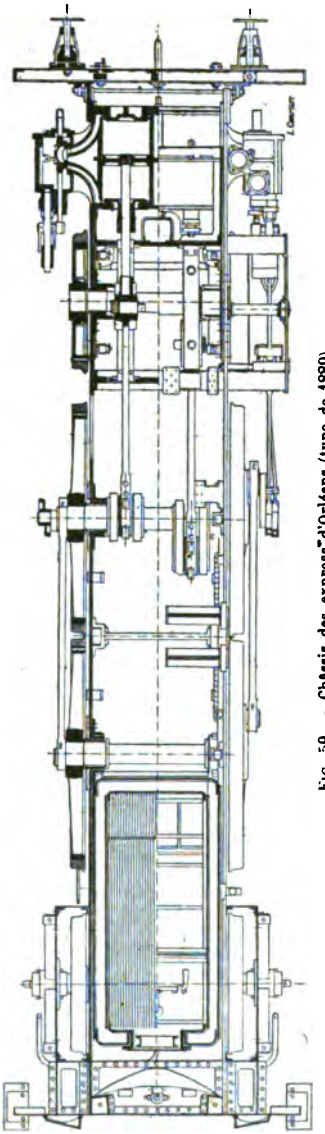


FIG. 59. — Châssis des express d'Orléans (type de 1889).

du Sud, les longerons ne sont jamais en tôle. Ils sont constitués par des barres de section rectangulaire, forgées et soudées. Vu leur faible hauteur, ces barres permettent une meilleure accessibilité des organes du mécanisme placés à l'intérieur et des boîtes, que les longerons en tôle; mais ils sont moins rigides. C'est, d'ailleurs, ce que recherchent les ingénieurs américains qui attachent une grande importance à assurer la souplesse de leurs locomotives, afin de faciliter leur passage dans les courbes de petit rayon ou sur des voies peu unies.

Les entretoises se font généralement en tôle ; elles sont reliées aux longerons par des cornières rivées ou boulonnées. Quelquefois on les fait en acier moulé ; elles portent alors, venues de fonte, les pattes d'attache sur les longerons. Une de ces entretoises sert à supporter les glissières des tiges de piston ou les guides des tiges de tiroir, quand ces organes sont placés à l'intérieur. Les cylindres, quand ils sont intérieurs, servent d'entretoise à l'avant.

Généralement, dans les locomotives de proportions normales, à cylindres et châssis intérieurs, les longerons sont réunis par les traverses et entretoises suivantes : une traverse à l'avant; les cylindres ; une entretoise à l'arrière des cylindres, portant les glissières ; une entretoise immédiatement à l'avant du foyer ; une traverse arrière souvent consolidée par des tôles horizontales et des cornières formant la plate-forme du mécanicien et recevant la cheville d'attelage. Dans les locomotives-tenders, cette traverse spéciale d'attelage est remplacée par une traverse semblable à la traverse d'avant et destinée à l'attelage avec les véhicules ordinaires, fourgons, voitures ou wagons.

Quand les cylindres sont extérieurs, les longerons sont entretoisés par leur travers, au moyen d'un massif en tôle et cornières, extrêmement robuste et rigide.

Quand le corps cylindrique est très long, la chaudière est quelquefois supportée par une ou deux entretoises intermédiaires, au moyen de platines glissantes, permettant la dilatation. Nous avons vu, au chapitre III, comment se faisait l'attache de la chaudière sur le châssis.

Les traverses avant sont en tôle (*fig.* 56) et cornières et

solidement reliées aux longerons, qu'elles dépassent de part et d'autre, de manière à protéger les organes du mécanisme extérieur et les roues, mais surtout pour supporter le trottoir ou tablier de la machine.

Ces traverses, comme celles des véhicules ordinaires, portent en leur centre un crochet d'attelage recevant un tendeur, deux chaînes de sûreté placées de part et d'autre et, enfin, deux tampons situés, de chaque côté, vers le dehors. C'est une question sur laquelle nous reviendrons.

67. Glissières des plaques de garde. — Les boîtes à huile des essieux sont disposées à l'intérieur d'ouvertures pratiquées dans les longerons, au droit des essieux, et dont la hauteur au-dessus de ces boîtes est suffisante pour permettre le jeu dû à l'oscillation de la machine sur ses ressorts. Ces boîtes sont guidées par des glissières de *plaques de garde* qui doivent présenter une surface de frottement suffisamment large pour que les déplacements verticaux des boîtes, incessants pendant la marche, se produisent sans grippage ni usure notables. La pression de la boîte contre ses glissières peut être considérable pour les roues motrices, puisque c'est sur elles que s'exerce l'effort longitudinal du piston, par l'intermédiaire du mécanisme.

Les glissières sont rapportées; elles se font en fonte, en fer matricé, ou mieux en acier moulé. Elles présentent chacune une patte d'attache fixée au longeron par une double rangée de boulons énergiquement serrés. Quand les longerons sont intérieurs, comme ils sont placés aussi près que possible des roues, les glissières des plaques de garde, beaucoup plus larges que les longerons, se projettent vers l'intérieur (*fig.* 60 et 61).

Les glissières sont maintenues, à la partie inférieure, par une entretoise amovible qui les empêche de s'ouvrir sous la pression de la boîte, et que l'on retire lorsqu'on lève la machine pour démonter les essieux et les boîtes.

Dans beaucoup de locomotives, une des glissières de chaque boîte est munie d'un coin de rattrapage de jeu, *c*, sur lequel on agit au moyen d'une vis et des écrous *e*. Comme leur nom l'indique, ces coins ont pour but de rattraper le jeu qui se

produit à la longue par l'usure entre la boîte et la glissière. On doit faire pour ces coins la même observation qu'en ce qui concerne les clavettes des têtes de bielle d'accouplement; elles doivent être toutes placées du même côté des boîtes, pour que l'on ne puisse venir, par un réglage intempestif, modifier l'entr'axe des essieux.

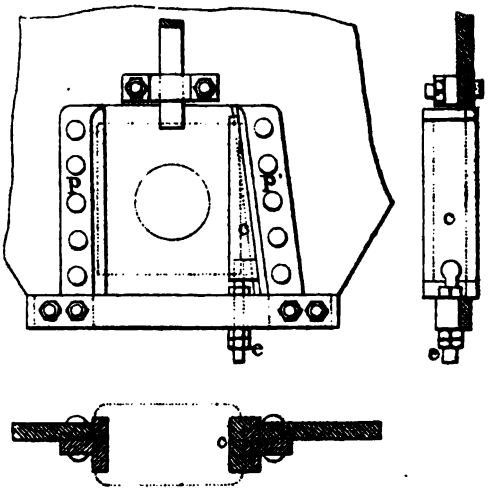


Fig. 60 et 61. — Glissières des plaques de garde.

Certaines Compagnies n'admettent pas, au contraire, que le réglage des boîtes puisse se faire par le premier venu dans les dépôts, et elles suppriment les coins. On place alors, sur la face d'une des glissières, une platine rapportée, assez mince, que l'on remplace après usure.

68. Boîtes à huile. — Ces boîtes, qui sont plus souvent, mais improprement appelées *boîtes à graisse*, sont destinées à reporter sur les essieux, par l'intermédiaire de leurs coussinets, les charges qui leur sont transmises par les ressorts. Elles servent aussi, maintenues qu'elles sont par les glissières de plaques de garde, à guider les essieux dans leurs déplace-

ments verticaux et à maintenir le parallélisme des essieux. Ces boîtes, quand elles ne comportent pas de dispositifs spéciaux destinés à faciliter le passage en courbe, dispositifs que nous examinerons plus loin, sont de construction très simple.

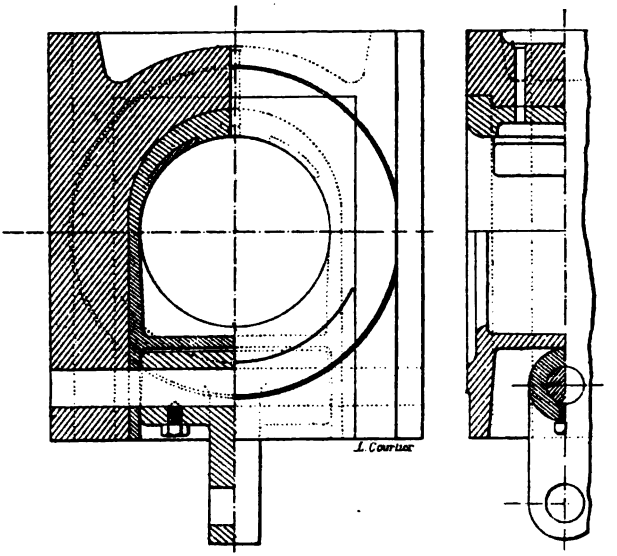


Fig. 62. — Boîte à huile.

Elles se composent généralement (*fig.* 62) d'une sorte de cadre à trois côtés, en fer cémenté et trempé, ou en acier moulé, ouvert à la partie inférieure, pour permettre sa mise en place sur l'essieu. Les deux faces latérales et verticales des boîtes sont parfaitement dressées, et peuvent coulisser sur les plaques de garde ; elles portent des *joues* qui les maintiennent et les guident sur ces dernières en s'opposant au déplacement transversal de l'essieu. Si, au contraire, pour faciliter le passage en courbe, on veut permettre un certain déplacement latéral de l'essieu, on laisse un jeu de quelques millimètres entre les joues et les glissières, la fusée ayant elle-même un certain jeu dans le coussinet. La partie supérieure de la boîte est creusée en forme de réservoir. La

cavité, étant fermée à la partie supérieure par une plaque en tôle munie d'un couvercle, reçoit l'huile de graissage qui s'écoule sur la fusée, au moyen de conduits verticaux, disposés comme ceux des têtes de bielle, et qui peuvent être à mèches ou sans mèches.

Le coussinet en bronze, le plus souvent garni d'antifriction, est parfaitement ajusté à l'intérieur de la boîte et s'applique exactement sur la fusée de l'essieu, maintenu latéralement par des *collets*.

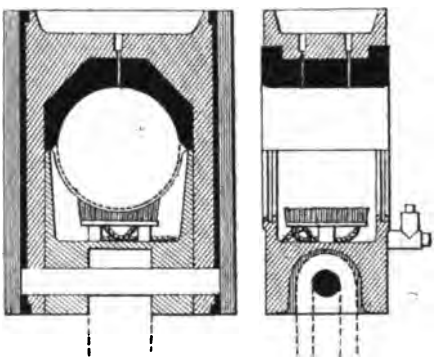


Fig. 63. — Boîte à huile avec tampon graisseur.

La partie inférieure de la cage de la boîte est fermée par un *dessous de boîte* mince, en fonte, qui s'applique contre les pinces inférieures du coussinet et laisse un certain jeu autour de l'essieu, de manière à ne pas créer de frottement inutile. Ce dessous de boîte est maintenu aux branches de la boîte par une cheville.

Depuis quelques années, on tend à rapprocher la construction des boîtes à huile des machines de celles des voitures de chemins de fer et à opérer le graissage par en dessous, au moyen d'un *tampon graisseur* pressé contre la fusée par de légers ressorts, et plongeant dans un bain d'huile contenu dans le dessous de boîte (*fig.* 63). Le réservoir d'huile supérieur n'est pas supprimé pour cela. En cas d'éventualité, le mécanicien peut graisser à la main par le haut. Cette disposi-

tion est plus facilement applicable aux boîtes extérieures qu'aux boîtes intérieures.

Les surfaces frottantes des glissières et des boîtes ont aussi besoin d'être graissées, ce qui est assez difficile en route. A l'imitation de ce qui se fait depuis longtemps dans les machines anglaises, certaines Compagnies ont établi dans leurs locomotives au-dessus du tablier, généralement contre la face intérieure des couvre-roues, de petits réservoirs d'huile, à mèche, communiquant par deux tuyaux, avec les faces des glissières et par un autre tuyau central, avec le réservoir du dessus de boîte. Les graisseurs facilitent beaucoup le travail du mécanicien.

Les boîtes reçoivent la charge qui leur est transmise par les ressorts, au moyen de tiges de pression qui s'appliquent dans une petite cavité ménagée à leur partie supérieure. Il arrive souvent, tout au moins pour les essieux moteurs et accouplés, que les ressorts sont placés sous les boîtes. Ils agissent alors par une tige de traction articulée au dessous de boîte renforcé à cet effet.

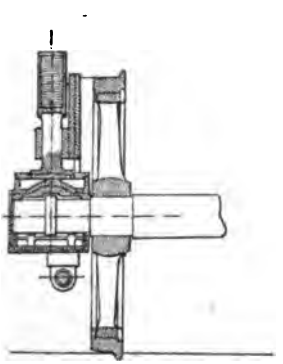


Fig. 64. — Boîtes extérieures.

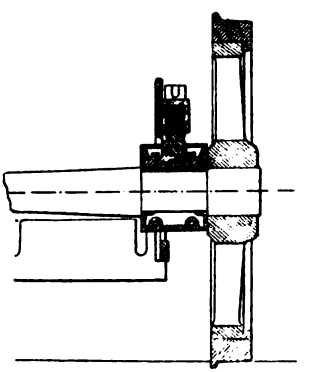


Fig. 65. — Boîtes intérieures.

Les coussinets des boîtes s'usent inégalement ; ils sont soumis à l'effort vertical dû au grand poids qu'ils supportent et à la poussée horizontale due à la pression sur le piston. La résultante se trouve dirigée obliquement vers le haut, et change d'inclinaison suivant les phases de la distribution. La

Compagnie de *Paris-Lyon-Méditerranée* a récemment adopté, pour les essieux moteurs, les boîtes du système Raymond et Henrard, renfermant trois coussinets, dont l'un, plus petit, est placé à la partie supérieure et ne sert qu'à supporter le poids de la machine. Les deux autres coussinets sont placés verticalement et ne reçoivent que les poussées dues à l'effort moteur. On peut avec ce système augmenter les surfaces de portage.

Les boîtes à huile sont *extérieures* (*fig.* 64) ou *intérieures* (*fig.* 65), suivant que les châssis le sont eux-mêmes.

69. Suspension. — Le châssis de la locomotive et tous les organes qui y sont fixés reposent sur les boîtes à huile, par l'intermédiaire de ressorts et d'organes accessoires qui atténuent les chocs dus aux inégalités de la voie, et permettent la répartition de la charge et son réglage sur chaque roue. Si peu flexibles que soient les ressorts de locomotives, ils n'en sont pas moins de première utilité, tant pour la bonne conservation des organes que pour celle de la voie.

70. Ressorts et tiges de suspension. — Dans l'immense majorité des cas, les ressorts des locomotives sont à *lames étagées et superposées*. La longueur de ces lames décroît à partir de la *maîtresse feuille*, ou lame supérieure, qui reçoit

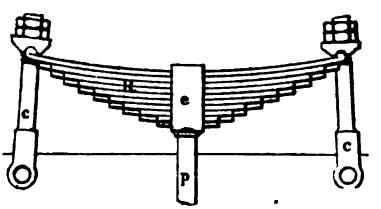


Fig. 66. — Ressort de suspension.

directement la charge. Le ressort se trouve avoir ainsi sensiblement la forme d'un solide d'égale résistance encastré en son milieu et chargé par ses deux extrémités. Cette forme a l'avantage de donner aux ressorts une flexibilité à peu près double de celle qu'ils posséderaient si toutes les feuilles avaient la même longueur (*fig.* 66).

Les lames des ressorts sont en acier spécial laminé, que l'on coupe à longueur, que l'on cintre, et que l'on trempe. Elles sont souvent venues de laminage avec une petite nervure arrondie sur une face et une gorge de même forme sur l'autre. Lorsque le ressort est formé, la nervure de chaque feuille s'engage dans la rainure de la feuille voisine, ce qui empêche tout déplacement latéral relatif.

La flexibilité des ressorts de locomotives varie entre 5 et 15 millimètres, suivant les cas ; elle est le plus souvent voisine de 10 millimètres par tonne.

Les lames sont maintenues et serrées en leur milieu par une *bride e*, qui porte la tige de traction *p* s'appuyant sur le dessus de boîte ou comportant l'œil d'articulation avec le dessous de boîte, quand la suspension se fait par dessous. Le ressort reçoit la charge de la machine par l'intermédiaire de deux tiges de suspension *c* articulées aux longerons, et munies à leur partie supérieure d'*écrous de réglage* qui permettent de régler la charge supportée par chaque ressort et d'assurer une répartition convenable du poids.

Dans certains cas, particulièrement lorsque la place manque, on se sert, pour les locomotives, de ressorts héliçoïdaux à fil rond ou rectangulaire, que l'on place sous les boîtes. Ce genre de ressort, très employé en Angleterre, n'est pas usité chez nous.

71. Balanciers de répartition. — La répartition du poids sur les essieux, opérée à l'*état statique*, se modifie pendant la marche, suivant que les inégalités de la voie amènent le soulèvement de tel ou tel essieu et la compression de ses ressorts. Il en résulte une surcharge de cet essieu, accompagnée d'un déchargement équivalent des autres essieux. Le phénomène se renouvelle constamment en cours de route. Tel essieu par exemple, qui, pendant l'arrêt, supporte, si la machine est bien réglée, une charge de 13 tonnes, en portera parfois, en vitesse, plus de 16. D'autre part, un réglage mal fait peut entraîner, avec le système tel que nous venons de le décrire, une surcharge permanente de l'un des essieux.

On remédie à ces inconvénients à l'aide des balanciers de

répartition, qui sont assez employés en France, mais sont d'un usage absolument général aux États-Unis, où les voies sont médiocres. Les balanciers peuvent affecter des dispositions très variées (*fig.* 67 à 70). Ils sont constitués par un levier articulé au châssis en un point intermédiaire, et chargeant les extrémités voisines des ressorts; chacun d'eux constitue, en réalité, un fléau de balance, mobile autour d'un axe situé près de son milieu; toutes les fois que la charge de l'une des extrémités varie d'une certaine quantité, celle de l'autre varie d'une quantité proportionnelle et de même sens. Le rapport des charges sur les deux essieux conjugués est alors invariable, et l'on peut considérer le poids de la machine qui charge les essieux comme reposant sur les axes des balanciers qui les réunissent. Si on veut que la charge soit égale sur les deux essieux, on place l'articulation au centre; si l'on veut que l'un des essieux soit plus chargé que l'autre, on rapproche davantage l'articulation de cet essieu.

L'emploi des balanciers permet de diminuer le nombre des points d'appui de la machine et, par conséquent, d'améliorer sa stabilité. On sait qu'une table reposant sur trois pieds est toujours dans un équilibre stable, tandis qu'une table comportant un plus grand nombre de pieds n'est en équilibre que sur un plan parfaitement dressé.

Dans les machines à quatre essieux, en accouplant deux à deux les ressorts des deux essieux extrêmes, on arrive à n'avoir plus que quatre points d'appui au lieu de huit; et, pour réduire à trois le nombre de ces appuis, il faut avoir recours à un balancier transversal, articulé en son milieu au châssis et, par ses deux bouts, aux extrémités avant ou arrière des premiers ou des derniers ressorts. C'est là une complication devant laquelle on recule souvent.

Les bogies ou trucks articulés à deux essieux chargés au centre par leur pivot ont l'avantage de réaliser la suspension idéale sur trois points pour les machines express dont les ressorts des deux essieux accouplés sont conjugués par des balanciers longitudinaux. On en trouvera un exemple typique dans les locomotives à bogie de l'*Ouest* et de *Paris-Lyon-Méditerranée*

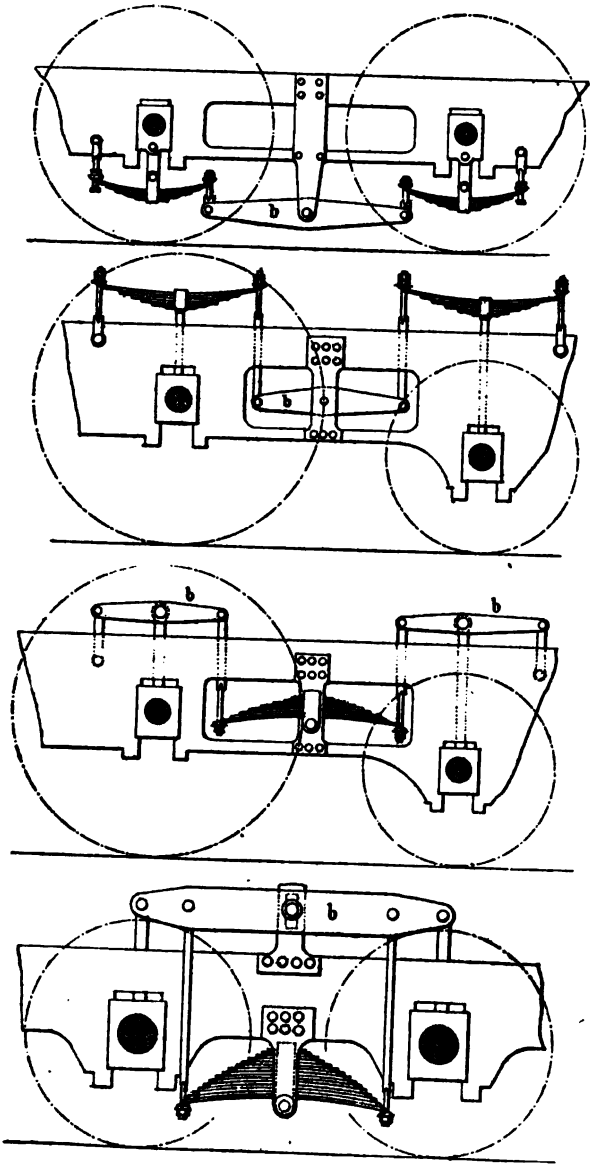


Fig. 67 à 70. - Balanciers de répartition.

Les balanciers peuvent être remplacés par des équerres articulées, reliées entre elles et aux ressorts par de petites bielles. C'est le système préféré par la Compagnie d'*Orléans*.

72. Essieux. — Les *essieux droits*, appliqués aux roues accouplées et porteuses ou aux roues motrices, lorsque les cylindres sont extérieurs, ne se distinguent des essieux de wagons et de tenders que par leurs dimensions un peu plus fortes, les charges qu'ils supportent étant plus considérables, et par la position de leurs fusées, le plus souvent intérieures. Tout essieu se compose d'un *corps*, cylindrique ou formé par la réunion de deux troncs de cône allongés, le diamètre minimum se trouvant dans le plan médian de la machine, de deux *portées* destinées à recevoir les roues qui s'y trouvent calées et de deux *fusées*, ce mot désignant, dans les chemins de fer, les tourillons sur lesquels reposent les coussinets des boîtes à huile.

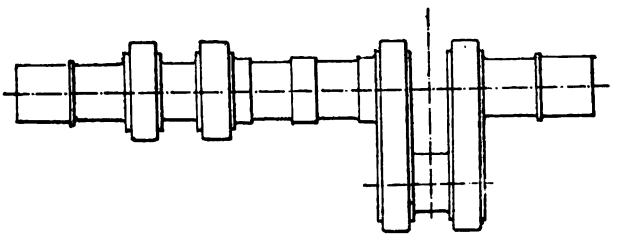


Fig. 71. — Essieu coudé.

Les *essieux coudés* (*fig.* 71), employés pour les machines à cylindres intérieurs, sont de fabrication plus difficile. Ils portent, entre les roues, deux coudes à angle droit, venus de forge, qui forment les manivelles motrices. Chacun de ces coudes est forgé plein, puis dégagé et formé à l'outil.

Les essieux coudés sont soumis à des efforts d'autant plus considérables qu'ils sont placés à une certaine distance des boîtes renfermant les coussinets qui les maintiennent et qu'ils sont exposés à fléchir sous l'action des efforts moteurs, tandis qu'ils supportent, d'autre part, une partie du poids de la machine. En outre, ils fatiguent au passage des courbes

raides et des croisements et, en général, chaque fois que les roues motrices forcent latéralement sur leurs boudins; cet effet étant d'autant plus sensible pour l'essieu que le diamètre de la roue et, par conséquent, le bras de levier de la force considérée sont plus grands.

La fabrication des essieux coudés a fait bien des progrès depuis quelques années, et les ruptures de ces organes sont de plus en plus rares. Ces ruptures ne se produisent pas, d'ailleurs, tout à coup. Les essieux périssent par le développement progressif de fissures qui se révèlent à l'examen auquel on se livre quand on lève la machine.

Autrefois, les essieux se faisaient toujours en fer; actuellement, en France du moins, on n'emploie plus que l'acier pour leur fabrication. Ces essieux sont l'objet d'essais très sévères avant leur réception dans les usines et d'une surveillance incessante en service.

Leur usinage consiste à les tourner assez grossièrement sur les parties libres, à tourner et polir avec soin les fusées et tourillons moteurs et, en ce qui concerne les essieux coudés, à vérifier et rectifier le calage des manivelles et à raboter celles-ci sur toutes leurs faces.

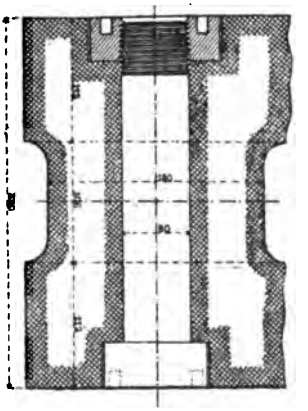


FIG. 72.

Pour consolider les bras des manivelles motrices, quelques Compagnies ont, depuis plusieurs années, l'habitude de les entourer d'une frette en acier A, placée à chaud, et de placer dans l'axe du tourillon un gros boulon monté à frottement dur dans un trou de même diamètre et qui retient les deux parties en cas de rupture (*fig.* 72). Ces deux dispositions sont aujourd'hui généralement adoptées par les Compagnies de l'*Ouest* et de *Paris-Lyon-Méditerranée*.

L'épaisseur que l'on est obligé de donner aux bras des ma-

nivelles est souvent un obstacle à l'élargissement des fusées de l'essieu, nécessaire pour tenir compte de l'accroissement des poids et des vitesses. Pour diminuer cette épaisseur sans réduire la solidité des coudes, M. Worsdell a eu l'idée de remplacer les bras rectangulaires par des disques circulaires excentrés, très minces, mais présentant une solidité aussi grande, par suite de l'augmentation de leur longueur. Ce système a été adopté pour quelques-unes des compound express du *Nord*.

73. Roues. — Les roues des locomotives sont calées à demeure sur leurs essieux, avec lesquels elles tournent. Cela est nécessaire en ce qui concerne les roues porteuses, en vue du roulement régulier et de la sécurité, ainsi que pour les voitures et wagons de chemins de fer, et, en ce qui a trait aux roues motrices et accouplées, pour qu'elles puissent être entraînées par le mouvement de rotation qu'imprime à l'essieu le couple moteur.

En France, ces roues se font toujours en fer étampé à chaud, suivant un mode de fabrication plus ou moins dérivé du procédé *Arbel*.

En Angleterre, on a longtemps préféré les roues forgées et soudées au marteau, suivant le procédé employé chez nous avant l'introduction des roues matricées. Actuellement, on emploie surtout dans ce pays les roues en acier moulé. Aux États-Unis, les roues sont toujours en fonte spéciale et de très robuste échantillon, avec jante et quelquefois avec bras creux.

Le *corps des roues* se compose d'un moyeu calé sur l'essieu et relié à la jante par des bras. La section de ces derniers augmente de la périphérie au centre, transversalement, comme dans le sens de la longueur, afin de mieux résister aux efforts de compression et de torsion auxquels ils sont soumis. Quelquefois, le corps des roues porteuses est composé d'une toile pleine en fer matricé, consolidé par des nervures intérieures (*Orléans*, *État*), ou en acier moulé (Angleterre, États-Unis), ou même en fonte (États-Unis). La Compagnie anglaise du *Great-Western* a essayé récemment, avec succès, l'application des roues Mansell à centres en bois pour les

bogies de certaines machines à voyageurs et pour les tenders. Les roues pleines ont l'avantage de soulever moins de poussière, mais elles rendent les boîtes à huile intérieures moins accessibles.

Les roues sont calées sur leurs essieux par emmanchement à la presse hydraulique, avec graissage des surfaces, sous une pression qui varie de 70 à 90 tonnes, suivant la rigidité des roues. On ajoute ordinairement un clavetage dont la nécessité n'est pas bien démontrée pour les roues qui ne sont ni motrices ni accouplées.

74. Contrepoids. — Les roues de véhicules de chemins de fer doivent être parfaitement équilibrées, de manière à ne présenter aucun *balourd*, c'est-à-dire de manière à se trouver en équilibre dans toutes les positions, lorsque l'on monte les essieux sur les pointes d'un tour. S'il en est autrement, la roue, en tournant, exercera sur le rail, sous l'action de la force centrifuge, une pression verticale plus grande, ou se trouvera, au contraire, soulagée d'une quantité égale, suivant que, dans le mouvement de rotation, le poids supplémentaire existant d'un côté se rapprochera du rail ou s'en écartera. Si le balourd est considérable, il peut en résulter successivement des surcharges du rail, puis des soulèvements de la roue qui ne sont pas sans danger et risquent d'entraîner des ruptures de rails ou des déraillements.

Or, les roues motrices et accouplées ne sont pas naturellement équilibrées, puisqu'elles sont solidaires des manivelles et de leurs boutons, ainsi que des bielles d'accouplement et des têtes de bielles motrices qui peuvent être considérées comme des pièces soumises uniquement à un mouvement de rotation. On équilibre ces pièces par des contrepoids diamétralement opposés.

La locomotive est soumise, par l'effet de l'inertie des organes du mécanisme, bielles motrices, pistons et leurs tiges, etc., à des perturbations spéciales appelées *mouvements de lacet* et de *recul*.

Un système mécanique ne peut modifier de lui-même la position de son centre de gravité. Si donc un certain nombre des organes constituant ce système se trouve déplacé sans

l'intervention des forces extérieures, il sera nécessaire que la masse des autres organes se déplace d'une quantité proportionnelle pour que la position du centre de gravité du système ne se déplace pas. On conçoit donc que, pendant la marche, le mouvement alternatif et incessant des organes du mécanisme, ayant un poids assez considérable, entraînera un déplacement, également continuel, des autres parties de la locomotive, ayant pour effet de rétablir la position du centre de gravité de l'ensemble. Si les organes alternatifs étaient placés suivant le plan longitudinal médian de la locomotive, leur inertie ne donnerait naissance à aucun couple, toutes les forces en jeu se trouvant dans le plan contenant le centre de gravité du système : la machine ne subirait qu'un mouvement de *recul* alternatif sans effet sur la stabilité. Mais les organes moteurs ne sont pas placés dans l'axe de la locomotive ; les cylindres sont situés de chaque côté et, comme leurs pistons ne se meuvent pas d'une manière corrélative, les manivelles étant calées à angle droit, il se forme à tout instant des couples de valeur variable qui tendent à faire tourner la locomotive autour de son centre de gravité, dans le plan horizontal, et à lui donner ce que l'on a appelé le mouvement de *lacet*. Cette action sera d'autant plus marquée que les axes des cylindres seront plus espacés, d'où, en principe, la stabilité plus grande des locomotives à cylindres intérieurs.

On pourrait équilibrer les organes alternatifs à l'aide de contrepoids placés à l'opposé des manivelles et supprimer ainsi le mouvement de lacet, qui a certainement une tendance à fatiguer la voie. Mais, s'il en était ainsi, les roues ne seraient plus équilibrées autour de leur axe de rotation ; elles auraient un balourd considérable, et les contrepoids alternatifs donneraient naissance à des forces verticales entraînant les graves inconvénients dont nous avons parlé plus haut. Aussi, en général, prend-on un moyen terme et se contente-t-on d'équilibrer une assez faible fraction des organes alternatifs, le quart ou le tiers de leur poids, par exemple. D'ailleurs, avec les machines modernes à grand empattement, à bogie, sans porte-à-faux, le mouvement de lacet n'a plus les inconvénients qu'il présentait avec quelques machines des anciens types.

Le contrepoids placé sur la roue présente une masse égale à la combinaison des masses nécessaires pour l'équilibre des organes rotatifs et de la fraction choisie des organes alternatifs et se trouve dans une position qui est la résultante des actions de ces deux masses. Autrement dit, on réunit en un seul, convenablement placé, ces deux contrepoids de valeur inégale.

Le calcul des contrepoids est compliqué par ce fait que les masses à équilibrer se trouvent dans d'autres plans que ceux des roues sur lesquelles sont placés les contrepoids, surtout dans le cas où les essieux sont coudés, l'axe des manivelles pouvant être alors à une distance de $0^{m},45$ du plan médian des contrepoids.

Autrefois, les contrepoids étaient ajoutés aux roues après coup et maintenus par des rivets. Plus tard, on les a fait venir de forge avec les bras, et récemment on a introduit un véritable perfectionnement en disposant ces contrepoids en forme de croissant très allongé, ce qui facilite la fabrication et diminue, en vitesse, la fatigue de la roue.

75. Bandages. — Les roues des locomotives et des tenders sont en fer ou en acier doux, métaux présentant une dureté insuffisante pour constituer les surfaces de roulement qui s'useraient trop rapidement. En outre, après usure, si la surface de roulement faisait corps avec la roue, celle-ci serait condamnée et mise au rebut avant terme. Pour éviter ces inconvénients, on place autour de chaque roue un bandage en acier demi-dur, supportant toute l'usure due au frottement, et pouvant se remplacer quand, par suite de cette usure et des rafraîchissements auxquels elle donne lieu, il a subi une trop grande diminution d'épaisseur. Le bandage consolide, en outre, la roue en exerçant sur sa périphérie un serrage énergique; il constitue, en réalité, une frette qui concourt fortement à la solidité de la roue (*fig.* 73).

Les bandages ne sont pas soudés; ils sont obtenus par le laminage d'un disque solide percé en son milieu d'un trou de diamètre suffisant pour le passage d'un galet de laminage. L'opération se continue jusqu'à ce que le diamètre du bandage ait atteint la cote désirée. Le poids de la matière a été

calculé de manière que le bandage ait alors l'épaisseur qu'il doit présenter à l'état brut.

La largeur normale des bandages employés en France est de $0^m,140$, et leur épaisseur varie de 55 à 75 millimètres; on les retire ordinairement quand leur épaisseur est réduite à 35 millimètres. Les bandages présentent, du côté intérieur, un boudin dont la saillie totale est de 30 à 35 millimètres et qui sert à maintenir la machine sur la voie. Les bandages sont alésés intérieurement et tournés au dehors, suivant le profil type adopté par la Compagnie qui les emploie. La surface de roulement présente une légère conicité destinée à ramener, autant que possible, dans l'axe de la voie, les roues montées et à augmenter, dans les courbes, le diamètre du cercle de roulement sur le rail extérieur, lequel a un plus grand développement. L'usure, toutefois, a vite fait disparaître cette conicité.

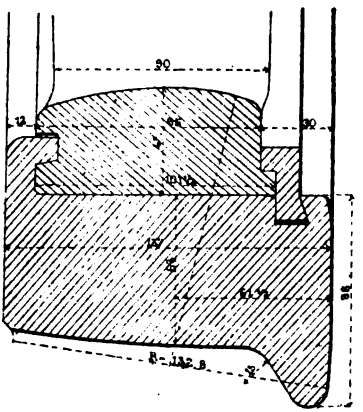


Fig. 73. — Bandage (coupe transversale).

Les boudins sont surtout utiles pour les roues extrêmes; on les supprime quelquefois pour les roues intermédiaires, particulièrement aux États-Unis, afin de faciliter le passage en courbes. La Compagnie de l'*Ouest* amincit les bandages des roues motrices de ses locomotives à quatre roues accouplées, ce qui revient à peu près au même, mais avec une garantie de plus en cas de rupture des boudins des roues arrière.

L'écartement intérieur des bandages d'une même paire de roues varie en France de $1^m,355$ à $1^m,365$, et le jeu des boudins sur la voie, de 12 à 15 millimètres de chaque côté; ce jeu est nécessaire pour faciliter l'inscription des véhicules

en courbes, mais il pourrait être moindre sans inconvénients.

Le mode de fixation des bandages est extrêmement variable ; mais, quel que soit le système adopté, la tenue du bandage est surtout effectuée par son embattage à chaud sur la jante de la roue, les autres fixations n'ayant qu'un but de sécurité et se trouvant destinées à agir au cas où le bandage viendrait à se relâcher. Le bandage est alésé à un diamètre inférieur de 1/1.000e environ à celui de la jante, tournée extérieurement, puis chauffé à une température inférieure au rouge le plus sombre et mis en place sur la roue ; par refroidissement, le bandage vient serrer énergiquement la jante et s'y applique avec force. On pourrait craindre, si le bandage n'était pas autrement maintenu, qu'il puisse se déplacer latéralement à la longue, sous l'action des chocs transversaux des boudins avec les rails, surtout après que l'action du roulement l'a étiré et allongé ; aussi complète-t-on toujours son attache par des dispositifs très divers.

Du côté extérieur, le bandage vient buter contre un épaulement de la jante ménagé lors du tournage ; on évite son déplacement dans l'autre sens soit au moyen de vis radiales mises par l'intérieur de la jante et pénétrant d'une certaine quantité dans le bandage sans le traverser entièrement (*Ouest*, *Paris-Lyon-Méditerranée*), soit au moyen d'agrafes circulaires continues reliées d'un côté à l'autre par des boulons traversant la jante (*Orléans*, *machines anglaises*), qui demandent un ajustage plus coûteux, mais ont l'avantage de ne pas affaiblir le bandage, qui n'est percé d'aucun trou. A la Compagnie du *Nord* on emploie souvent un cercle de fer qui vient se placer dans une gorge du bandage ménagée du côté intérieur et se trouve maintenu par le rivetage des bords de cette gorge.

76. Dispositions propres à faciliter le passage en courbes — La locomotive à essieux rigides et strictement parallèles ne peut théoriquement passer en courbes, elle ne s'y inscrit que par suite de l'imperfection même de sa construction, de la flexibilité de son châssis et du jeu laissé entre les boudins et les rails, ou entre les essieux, les boîtes et les glissières des plaques de garde. Mais, quand l'empattement rigide

dépasse une certaine longueur ou quand le rayon des courbes descend au-dessous d'une valeur déterminée, ce jeu et cette élasticité naturelle ne suffisent plus. On est obligé d'adopter, pour un ou plusieurs essieux des extrémités, des dispositions spéciales assurant leur déplacement latéral ou même leur convergence dans les courbes; quand les essieux considérés sont accouplés, l'effet de ces dispositions ne peut qu'être limité, la présence des bielles d'accouplement ne permettant qu'un déplacement latéral fort minime.

Quand le déplacement transversal doit être peu considérable, on se contente de donner à l'essieu, dans ses coussinets, et aux boîtes, dans leurs glissières, un simple jeu qui facilite le mouvement longitudinal de l'essieu. Si le jeu ainsi donné était trop considérable, la machine aurait une certaine instabilité; elle serait, en quelque sorte, folle sur ses essieux. Aussi adopte-t-on, quand les jeux dépassent 1 centimètre environ, des dispositifs dits de *rappel*, qui ont pour but de ramener automatiquement le système dans l'axe de la machine, dès que celle-ci est sortie d'une courbe raide, ou d'opposer, au déplacement de l'essieu, une résistance élastique. Ces différents systèmes sont peu employés pour les essieux accouplés auxquels on ne peut guère, pour les raisons énoncées plus haut, donner un jeu dépassant la valeur au-dessus de laquelle il a besoin d'être contrôlé.

En réalité, on doit considérer, à part quelques types spéciaux, comme les machines Mallet à quatre cylindres, que les locomotives appelées à circuler facilement dans les courbes de petit rayon sont à adhérence incomplète. Ces machines comprennent un certain nombre d'essieux accouplés formant l'empattement rigide de la machine. A l'avant ou à l'arrière, on ajoute un ou plusieurs essieux jouissant d'un déplacement latéral ou d'une convergence plus ou moins complète.

77. Essieux à boîtes munies de plans inclinés. — Quand l'essieu ne doit posséder qu'un jeu latéral sans convergence, on opère souvent le rappel par des plans inclinés placés au-dessus de la boîte.

Dans la disposition adoptée par la Compagnie d'*Orléans*,

les deux coins, d'une inclinaison d'environ 0,12, sont fixés, l'un à la boîte, par son centre, l'autre entre les joues du coussinet. Ces plans inclinés sont en fer cémenté et trempé, de manière à présenter une grande résistance à l'usure; et leur graissage se fait par siphonnement, au moyen de mèches et de rainures spéciales introduisant l'huile entre eux (*fig.* 74).

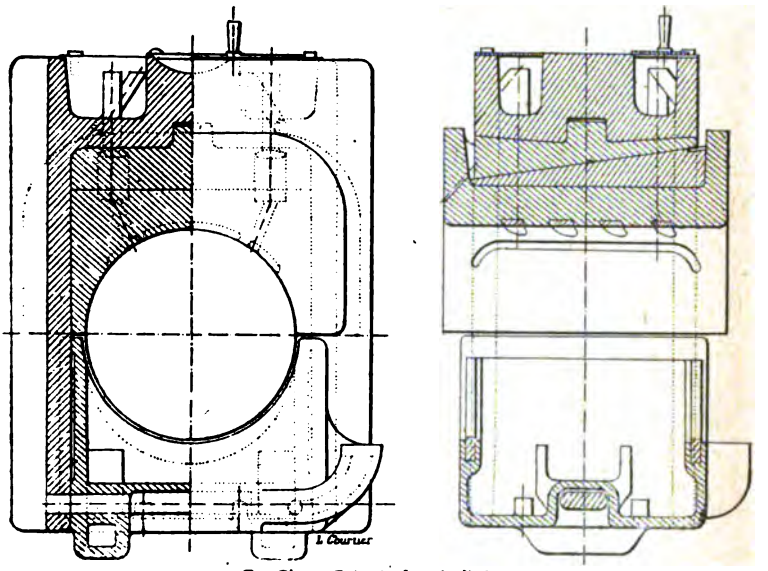


Fig. 74. — Boîte à plans inclinés.

Lorsque, dans une courbe, l'essieu est poussé transversalement à l'axe de la machine, il ne peut se déplacer qu'en comprimant le ressort de suspension par l'intermédiaire des plans inclinés. De là une résistance propre à donner la stabilité nécessaire et à rappeler l'essieu à sa position normale, lorsque la machine sort de la courbe. Chaque dessus de boîte est muni de deux plans croisés effectuant le rappel, l'un vers la droite, l'autre vers la gauche.

78. Trains articulés ou bissels à un seul essieu. — Dans le dispositif qui a reçu le nom de son premier inventeur,

Bissel, l'essieu jouit à la fois de la convergence et du déplacement latéral. Il est à peu près indépendant de la machine et fait partie d'un petit truck, articulé à une cheville ouvrière située à une assez grande distance en arrière, dans l'axe de la machine. Les ressorts de suspension chargent les boîtes par l'intermédiaire de platines à glissement qui ne s'opposent pas au déplacement longitudinal de l'essieu. On peut opérer le rappel par ces platines en les munissant de plans inclinés qui agissent comme dans le système de boîte examiné plus haut. On préfère généralement opérer ce rappel par des menottes, inclinées en sens inverse, transmettant au châssis du truck le poids de la machine.

Les bissels peuvent se faire aussi à deux essieux invariablement parallèles entre eux et solidaires d'un même châssis.

79. Essieux à boîtes radiales. — La boîte radiale remplit le même but que l'avant-train bissel. L'essieu est guidé par ses boîtes à l'intérieur de glissières courbes ou obliques qui le font converger à mesure qu'il se déplace dans le sens de sa longueur. Le rappel peut être opéré à l'aide de plans inclinés, comme dans la boîte Roy, ou par des ressorts antagonistes, héliçoïdaux ou à pincettes, comme dans les boîtes du type Webb, très employées en Angleterre (*fig.* 75, 76). Quand les glissières sont courbes, elles ont un rayon égal à la distance qui séparait l'essieu de l'articulation dans un bissel donnant la même convergence.

Tant que le déplacement longitudinal de l'essieu reste minime, la convergence ne semble pas très utile en pratique.

80. Trucks articulés ou bogies. — Le bogie est un truck à deux essieux articulés autour d'une cheville ouvrière placée soit en son centre de figure, soit près de celui-ci, vers l'arrière de préférence. Ces trucks se divisent en deux classes, suivant qu'ils ne peuvent prendre qu'un mouvement de rotation autour de leur pivot ou qu'ils possèdent, en outre, un jeu latéral de quelques centimètres. Ce jeu, qui ne paraît guère nécessaire que pour le passage dans les courbes de faible rayon ou quand la machine est très longue, doit être con-

trôlé. Ce contrôle est effectué par des ressorts antagonistes, des menottes ou des plans inclinés.

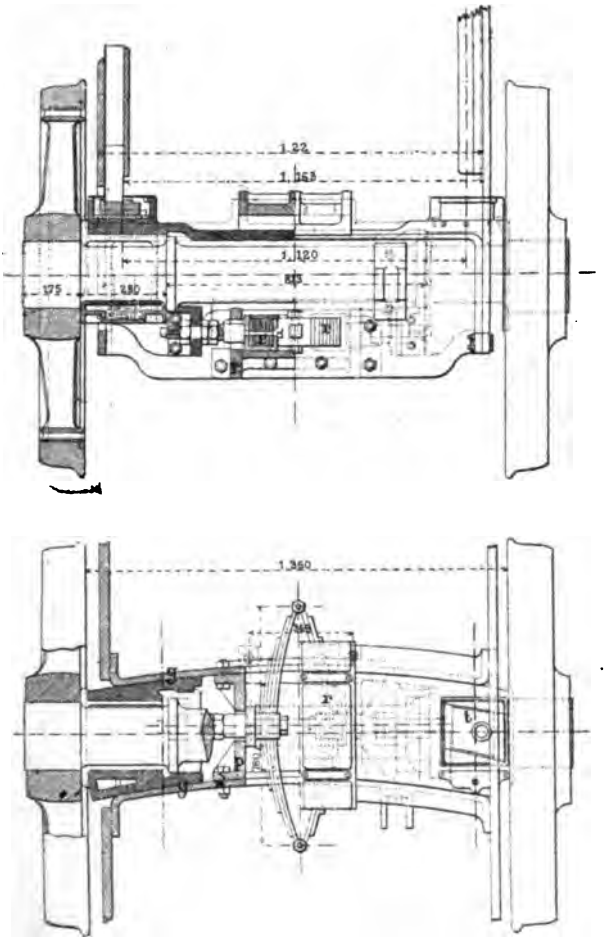


Fig. 75 et 76. — Boîtes radiales du système Webb.

Le bogie s'étant récemment beaucoup répandu en France pour les machines express (*Nord*, *Ouest*, *Est*, *Paris-Lyon-Médi-*

terranée, *Midi*) et donnant aux machines qui en sont munies un caractère spécial, nous pensons devoir insister sur les avantages qu'il possède et sur son mode de construction.

Le bogie n'est pas d'invention récente, et pour retrouver les premières applications qui en ont été faites, il faut remonter presque jusqu'à l'origine de la locomotive. Un ingénieur américain, M. J. Jervis, breveta, dès 1831, le truck articulé dans son application aux locomotives, et son dispositif fut appliqué dès l'année suivante. En 1832, M. Winant appliqua le bogie à une locomotive de *Baltimore and Susquehanna Railroad*. C'est seulement plus tard, vers 1834, que Stephenson construisit une locomotive à bogie, laquelle fut importée en Amérique. Ce fait avait longtemps porté à croire que le célèbre ingénieur avait été le premier applicateur du truck articulé.

La première machine à quatre roues accouplées et à bogie qui peut être considérée comme l'origine du type, dès lors classique en Amérique, fut construite par Eastwich et Harrison, de Philadelphie, en 1837.

En Angleterre, le bogie conquit ses lettres de naturalisation vers 1850, époque à laquelle il fut appliqué par Gooch et Pearson à des machines-tenders à voie large de $2^{m},13$ du *Great-Western* et du *Bristol and Exeter*, mais sa généralisation est beaucoup plus récente. Les applications, au sens moderne du mot, ne datent, en réalité, que de 1867. Depuis, il n'a cessé de se développer, autant pour les machines express que pour les machines de banlieue. Aujourd'hui, toutes les Compagnies anglaises, sauf deux, ne font plus construire que des locomotives express à bogie.

Sur le continent, le bogie fut introduit par Meyer, vers 1848, particulièrement sur les chemins de fer allemands et suédois.

En France, les Compagnies du *Nord* et de l'*Ouest* adoptèrent le bogie pour leurs locomotives express, la première en 1878, et la seconde en 1888; la Compagnie de l'*Est*, en 1891; la Compagnie *Paris-Lyon-Méditerranée*, en 1892. Cette dernière Compagnie ne s'est pas contentée d'employer le truck articulé pour ses constructions neuves, elle transforme peu à peu, en locomotives à bogie, ses anciennes locomotives express à quatre essieux.

Le bogie présente un grand nombre d'avantages, que l'on peut résumer comme suit :

Il facilite le passage de la machine dans les courbes ; il permet d'augmenter l'empattement et la stabilité sans nuire à la souplesse.

Il diminue, dans le sens longitudinal, l'action des chocs dus aux inégalités verticales de la voie.

Une notable fraction du poids se trouvant reportée sur l'avant en quatre points convenablement espacés sur les rails, il en résulte, pour la voie, une moindre fatigue et une augmentation de son adhérence sur le sol, qui la prépare au passage des roues motrices et diminue la tendance au grippement.

Les bogies de différents types se différencient surtout par la manière dont leur est transmis le poids de la machine, par les dispositifs adoptés pour contrôler le jeu transversal ou par la disposition de la suspension.

Le poids peut être transmis au bogie par l'intermédiaire du pivot seulement, ou par des platines latérales s'appuyant sur les longerons du truck.

Le rappel peut être effectué au moyen de ressorts, ou bien par la gravité, à l'aide de plans inclinés ou de menottes.

La suspension peut être effectuée comme celle des véhicules ordinaires, à l'aide de quatre ressorts, placés au-dessus des boîtes, indépendants ou reliés par des balanciers latéraux. On préfère souvent la disposition américaine, dans laquelle la charge est transmise aux boîtes, de chaque côté, à l'aide d'un ressort unique, renversé, dont le milieu articulé au châssis correspond au plan médian transversal du bogie, et dont les extrémités sont reliées par de petites menottes à un balancier à deux flasques reposant par ses bouts sur les dessus de boîte.

Quand les ressorts sont conjugués par un balancier, et que le truck est chargé seulement par son pivot, la répartition de la charge est invariable, et le bogie peut être considéré comme ne présentant qu'un seul point de suspension.

Aujourd'hui, en France et en Angleterre du moins, on donne la préférence aux bogies comportant un déplacement latéral. Les bogies des Compagnies de l'*Ouest* et de *Paris-*

Lyon-Méditerranée nous fourniront deux exemples typiques.

Bogie de la Compagnie de l'Ouest (*fig.* 77 à 79). — Le châssis est formé de deux longerons en acier, ayant 25 millimètres

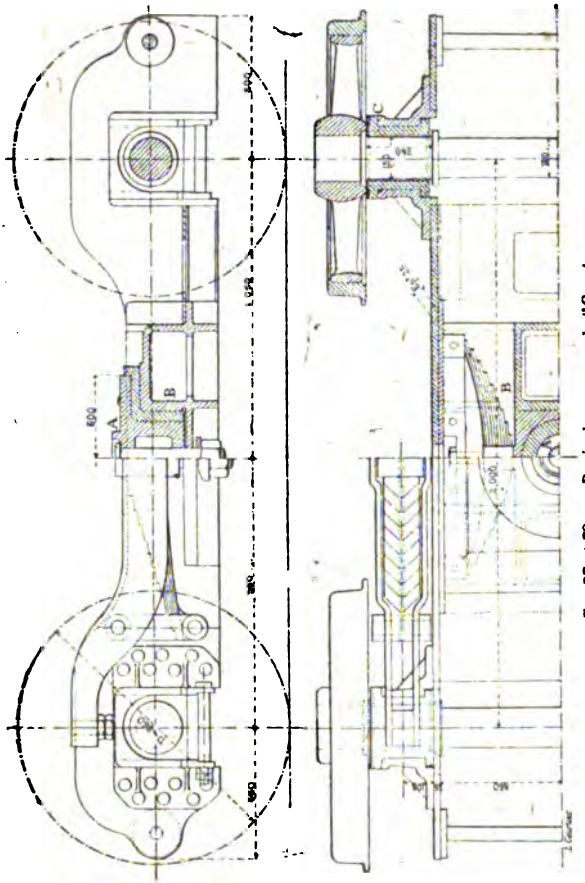


Fig. 77 et 78. — Bogie des express de l'*Ouest*.

d'épaisseur. Une traverse, à l'avant, reçoit des chasse-pierres. Les longerons sont reliés par une pièce en acier coulé, sur laquelle repose un support de pivot également en acier. C

support a la forme d'un plateau ; sa partie inférieure glisse dans une rainure transversale, tandis que la partie supérieure reçoit le pivot. Le déplacement transversal, contrôlé par un ressort à lames, de chaque côté, peut atteindre 0m,050. Les ressorts ont une tension initiale de 1.400 kilogrammes et une flexibilité de 0m,025 par tonne.

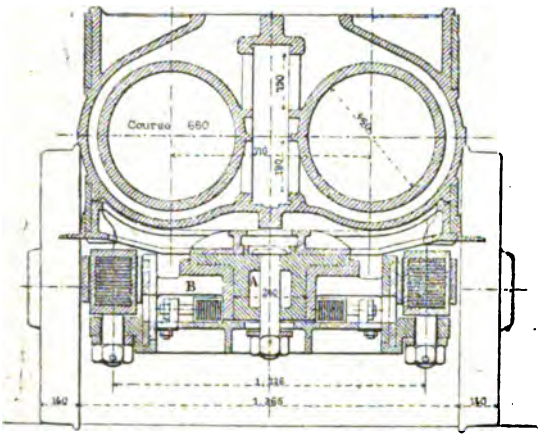


Fig. 79. — Bogie des express de l'*Ouest*.

L'axe du pivot se trouve déporté de 0m,05 sur l'arrière, par rapport au centre de figure du bogie, afin de faciliter l'inscription du truck dans les courbes.

Les longerons ont été munis, au droit des essieux, de pièces en fer, formant butées, afin de limiter le pivotement du bogie dans les cas accidentels.

Les essieux du bogie sont chargés, de chaque côté, par un ressort longitudinal commun, suspendu à des doubles flasques en tôle, dont les extrémités reposent sur les boîtes à graisse.

Ces dernières sont en bronze, et leurs glissières en acier coulé.

La distribution de l'huile, dans les différentes parties du bogie, est assurée au moyen de rainures et de trous, dans

lesquels débouchent des tuyaux partant de deux boîtes fixées à demeure.

Bogie de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée (*fig.* 80 à 83, Pl. II).— Le bogie adopté pour les nouvelles locomotives de la Compagnie *Paris-Lyon-Méditerranée* est d'un type un peu différent, le rappel n'est plus fait au moyen d'un ressort, mais par la gravité. Il supporte la locomotive en son milieu, dans une crapaudine sphérique, qui tourne autour de son axe vertical en même temps que le pivot, en s'élevant le long de surfaces héliçoïdales sur lesquelles elle repose, et qui peut, en outre, se déplacer transversalement par rapport au bogie en montant sur des plans inclinés à 15 0/0. Ce nouveau bogie ne repose que sur deux ressorts qui transmettent la charge chacun aux deux boîtes du même côté de la machine. Il en résulte que les charges de ces deux boîtes sont toujours égales. Comme, de plus, la charge du pivot se répartit toujours également entre les deux essieux, et que son égale répartition entre les deux côtés du bogie n'est altérée que par le léger déplacement transversal de la crapaudine, il en résulte que, sous réserve de l'influence de ce léger déplacement, les quatre roues sont toujours également chargées.

Il est à remarquer que le châssis du bogie, recevant la charge de la locomotive et la transmettant aux ressorts en trois points situés dans le même plan vertical et à peu près à la même hauteur, serait fou autour d'un axe horizontal passant par ses deux points d'appui sur les ressorts, si on n'avait pas fixé sa position en le suspendant à la locomotive sur l'avant du pivot, au moyen d'une bielle assez longue pour ne pas gêner la rotation du bogie autour de son pivot. Une seconde bielle, plus courte, relie le châssis du bogie à la locomotive, sur l'arrière du pivot; mais son articulation inférieure a assez de jeu pour qu'elle ne travaille qu'en cas de décollement du pivot et de sa crapaudine; c'est un organe de sûreté, qui remplit un rôle analogue à celui du boulon central réunissant le pivot et la crapaudine dans le bogie de beaucoup d'autres locomotives.

81. Attelage de la machine et du tender. — L'attelage de la machine avec son tender s'opère d'une manière spéciale.

Fig. 81. Coupe par EFGH

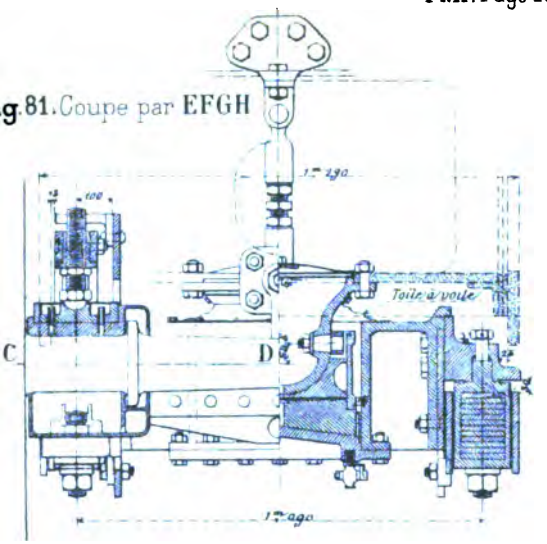
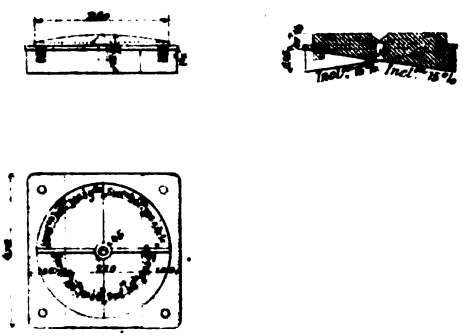


Fig 83. Plans inclinés



seule-
puyer
placé
ders,
barre
nt les
Pour
ort de
euvre
rsque
passer

barre
ort de
ses du
deux
ndues
deux

-Lyon-
barre
autres
ne l'on
ille du

La machine elle-même ne porte pas de tampons, mais seulement des butoirs très plats sur lesquels viennent s'appuyer les tampons du tender reliés à un ressort de choc placé horizontalement à l'avant. Dans beaucoup d'anciens tenders, l'attelage avec la machine s'opère à l'aide d'une simple barre percée de deux œils allongés dans lesquels s'engagent les chevilles d'attelage de la machine et du tender (*fig.* 84). Pour réunir la machine et le tender, on comprime le ressort de choc à l'aide d'une vis ou d'une crémaillère de manœuvre placée vers le dehors, et on met la barre en place lorsque l'aplatissement est assez prononcé pour permettre de passer

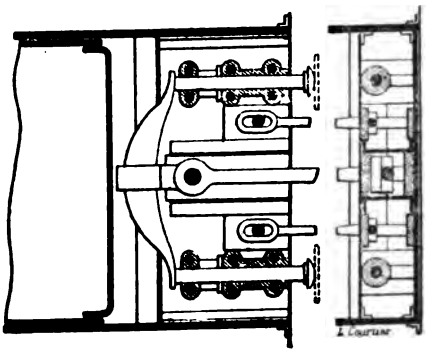


Fig. 84. — Attelage de la machine et du tender.

les chevilles dans les deux ouvertures des têtes de la barre d'attelage. Celle-ci une fois en place, la bande du ressort de choc assure un serrage énergique entre les traverses du tender et de la machine. On complète l'attelage par deux barres de sûreté latérales, normalement assez peu tendues pour ne pas s'opposer aux mouvements relatifs des deux véhicules dans les courbes.

Quelques Compagnies, celles de l'*Ouest* et de *Paris-Lyon-Méditerranée* entre autres, préfèrent employer une barre d'attelage à vis disposée comme les tendeurs des autres véhicules. C'est alors avec ces barres elles-mêmes que l'on détermine le serrage. Cette barre se fixe sur une cheville du

tender qui est tantôt rigide et directement solidaire du châssis, tantôt élastique et montée sur l'étrier du ressort de choc et de traction.

La Compagnie de l'*Ouest* emploie l'attelage rigide du système Ed. Roy, qui ne comporte aucun ressort et s'oppose au mouvement de lacet sans gêner l'inscription en courbes. La machine et le tender portent deux tampons en fonte, à faces obliques, ceux de la machine ayant une surface sphérique dont le centre est placé sur l'axe de la cheville d'attelage. La machine et le tender sont solidaires l'un de l'autre transversalement, ce qui diminue beaucoup l'amplitude du lacet. L'attelage est effectué à l'aide d'une barre à vis qui ne doit servir qu'à amener les surfaces des tampons en contact, sans exercer de serrage.

La Compagnie d'*Orléans* emploie, pour quelques-unes de ses machines, des *attelages convergents* se composant essentiellement d'un guide circulaire dont le centre de courbure est situé sur la perpendiculaire du centre de gravité de la locomotive et d'un galet pouvant se déplacer librement sur ce guide et servant de point d'attache à la barre d'attelage ou *tendeur*. Le tender comporte deux tampons à ressort, et la machine, deux tampons rigides; les surfaces de ces tampons sont inclinées tangentiellement à un cylindre ayant pour axe la verticale du centre de gravité de la machine. On serre l'attelage avec une tension initiale de 3.000 kilogrammes environ.

82. Attelage avec le train. — Les locomotives à tender séparé sont attelées aux trains par la traverse arrière de leur tender ou, si elles marchent en avant, par leur traverse avant. Les locomotives-tenders s'attellent indifféremment par leurs traverses avant ou arrière, qui sont semblables.

Les traverses d'attelage comportent chacune : deux tampons placés sur les côtés à un écartement moyen d'axe en axe de $1^{m},75$, d'un crochet d'attelage avec tendeur placé dans l'axe et de deux chaînes de sûreté situées entre le crochet et les tampons.

Les *tampons* se composent d'un champignon formant la partie extérieure destinée à venir en contact avec celui du

véhicule voisin et venu de forge sur une tige s'engageant dans une boîte métallique, souvent à jour, appelée *faux tampon*, qui sert de guide et contient le ressort de choc ordinairement héliçoïdal et à section rectangulaire. Un collet ménagé sur la tige du tampon limite l'enfoncement en cas de choc violent.

Le crochet de traction est solidement relié à la traverse, ordinairement renforcée en ce point. Souvent, le crochet tire, à l'aide d'une plaque qui est fixée à sa tige, sur un ressort héliçoïdal, sur des rondelles élastiques Belleville ou sur des rondelles en caoutchouc. Chaque crochet porte un *tendeur à vis* qui y est fixé à demeure dans un œil, et dont la maille se place à l'intérieur du crochet du véhicule suivant. En serrant la vis, à deux pas contraires, du tendeur, on rapproche d'abord les tampons des deux véhicules au contact, puis on exerce un serrage suffisant pour assurer entre les véhicules consécutifs une solidarité capable de diminuer les mouvements de lacet. Les ressorts des tampons n'ont pas seulement pour but d'amortir les chocs lors des tamponnements, pendant les manœuvres, mais aussi de permettre la circulation en courbes. Comme ils sont placés latéralement, ils s'opposeraient à l'inscription des véhicules, s'ils ne pouvaient jouer longitudinalement lorsque ceux-ci prennent l'obliquité nécessaire.

Les chaînes de sûreté ne sont jamais tendues, elles ne doivent servir qu'en cas de rupture du tendeur et sont d'une utilité beaucoup moins grande depuis l'usage général des freins continus automatiques.

83. Accessoires. — Parmi les organes accessoires du châssis, il convient de citer : le *tablier*, les *couvre-roues*, l'*abri*, les *chasse-pierres*, les *marchepieds*.

Le *tablier* (*fig.* 85) est constitué par une sorte de trottoir A en tôle, supporté sur les longerons au moyen de consoles rivées, et destiné à permettre aux agents du service de circuler sur la machine et d'en faire le tour, même pendant la marche. La largeur de ce tablier est limitée par le gabarit ; en France, la largeur totale de la machine ne dépasse guère $2^{m},85$. En Allemagne et aux États-Unis, on atteint jusqu'à 3 mètres ;

en Angleterre, au contraire, la largeur totale excède rarement $2^m,45$.

Le tablier doit être, autant que possible, uni et sans redans, afin que le mécanicien ou le chauffeur, quand ils y circulent de nuit, ne soient pas exposés à buter et à tomber sur la voie. Cette condition est parfois difficile à réaliser, particulièrement si l'on tient à ce que les organes du mécanisme extérieur soient parfaitement accessibles, ce qui oblige à relever le tablier par le travers des roues motrices et accouplées. Dans les machines anglaises et dans les nouvelles express de l'*Ouest*, qui ont tout le mécanisme intérieur, les tabliers sont parfaitement unis et horizontaux d'un bout à l'autre. L'aspect de la machine est plus satisfaisant.

Le tablier rejoint la plate-forme du mécanicien qui s'étend à l'arrière et sur les côtés du foyer. La longueur de cette plate-forme varie suivant la disposition de la machine et la position relative des roues accouplées et du foyer. Quand la machine comporte un essieu accouplé à l'arrière de la boîte à feu, la plate-forme est assez longue, car la traverse arrière doit être située en deçà des roues, mais est assez étroite, les couvre-roues la limitant à droite et à gauche. Les agents doivent se tenir entre ces couvre-roues ; mais, quand leur service le leur permet, ils peuvent s'y asseoir. Les machines ayant le foyer en porte-à-faux ont des plates-formes très courtes, mais plus larges que les précédentes.

Les roues des locomotives, dans la portion qui dépasse le tablier, sont recouvertes par des *couvre-roues* en tôle C (*fig.* 85), qui ont surtout pour objet d'empêcher que les agents du service, lorsqu'ils circulent sur le tablier pendant la marche, ne soient blessés par les bras des roues. Ces couvre-roues, de forme semi-circulaire, sont en tôle et portent généralement à leur pourtour une bande ou un cercle de laiton qui n'a qu'un but décoratif.

L'abri du mécanicien, en France du moins, ne se trouve guère que sur les machines de construction récente. Il y a quelques années encore, on se contentait de simples écrans, recourbés parfois vers l'arrière, pour former un commencement de toiture. Ces écrans, en tôle, placés à peu près à l'aplomb de la face arrière du foyer, étaient munis, de chaque

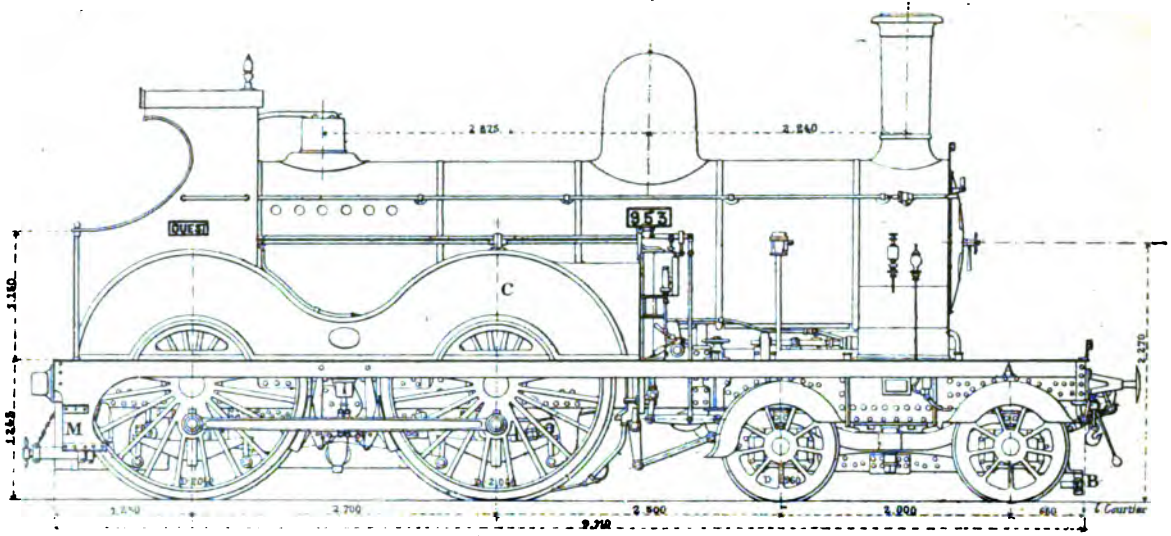


Fig. 85. — Élévation extérieure (Express de l'*Ouest*.

côté, d'un verre enchâssé, appelé *lunette*, permettant au mécanicien de voir sur l'avant sans se pencher au dehors.

Ces écrans, considérés autrefois comme un luxe, à une époque où, d'ailleurs, les vitesses et les parcours des machines étaient moindres qu'aujourd'hui, sont remplacés, dans la plupart des locomotives de construction récente, par de véritables cabines en tôle, comportant une face avant munie de lunettes, des joues latérales assez développées et une toiture recouvrant toute la plate-forme. Les agents sont ainsi très convenablement protégés contre les intempéries.

Les *chasse-pierres* B (*fig.* 85) sont des appendices en tôle, solidement boulonnés aux longerons, à l'extrême avant, et destinés, comme leur nom l'indique, à chasser du rail les obstacles qui pourraient s'y trouver et occasionner un déraillement. Pour remplir convenablement ce but, les chasse-pierres doivent se trouver à l'aplomb du rail et descendre assez bas pour que les obstacles capables par leur volume d'entraîner un accident n'échappent pas à leur action. Cependant ils ne peuvent descendre assez bas pour venir porter contre le rail lorsque la machine oscille sur ses ressorts ou se trouve déréglée.

Dans les locomotives américaines, comme dans toutes celles qui sont destinées aux pays neufs où la voie, peu surveillée, est exposée à se trouver occupée par des bestiaux ou des animaux sauvages, le chasse-pierres est remplacé par un appareil spécial appelé chasse-vaches ou *cow-catcher*, composé d'une sorte de soc en bois, à jour, très robuste, défendant l'avant de la machine et appelé à rejeter vers les bas-côtés les animaux assez imprudents pour s'aventurer sur la voie lors du passage des trains.

Les *marche-pieds* M (*fig.* 85) servent aux agents à monter sur la machine et à en descendre. On les place ordinairement à l'arrière, par le travers de la rampe. Dans les machines-tenders et dans les locomotives à cylindres intérieurs, on ajoute fréquemment de chaque côté un second marche-pied à l'avant des roues motrices pour faciliter aux agents l'accès du mécanisme.

84. Sablière. — On augmente artificiellement l'adhérence,

lorsqu'elle devient insuffisante, en laissant couler du sable fin sur le rail, devant les roues motrices. Le sable destiné à cet usage, convenablement tamisé et séché, est emmagasiné dans une boîte en tôle, le plus souvent placée sur le corps cylindrique. Il s'écoule de chaque côté sur le rail par un petit tuyau cintré passant devant la roue et commandé par une petite soupape à la main du mécanicien.

Pour améliorer l'aspect de la machine, les Anglais placent la sablière sous le tablier et la dissimulent à la vue. Quelques Compagnies françaises commencent à suivre leur exemple.

La sablière, disposée comme nous venons de le dire, présente cet inconvénient que le sable tombe à quelque distance en avant de la roue motrice, et, si le rail est très gras, le démarrage peut être fort pénible jusqu'au moment où la roue avance de la quantité nécessaire pour mordre sur la partie où se trouve le sable. En outre, on perd une quantité trop considérable de sable, qui salit les rails derrière la machine et augmente la résistance du train.

Aussi emploie-t-on fréquemment aujourd'hui la sablière à vapeur, du système *Gresham* et *Craven*, qui injecte un mince filet de sable au contact de la roue motrice et du rail; la consommation de sable est diminuée; le rail est, en outre, légèrement lavé par la vapeur qui se condense sur lui, et le démarrage s'effectue dans de bonnes conditions, parce que le sable est porté au contact, même avant que la roue n'ait avancé. On trouve cet appareil sur les nouvelles locomotives express de toutes les grandes Compagnies françaises.

Pour que le fonctionnement de cette sablière soit satisfaisant, il est nécessaire que le sable soit bien fin et sec.

CHAPITRE V

LE TENDER ET LA LOCOMOTIVE-TENDER

85. La dépense d'eau et de charbon d'une locomotive remorquant un train est nécessairement très variable suivant

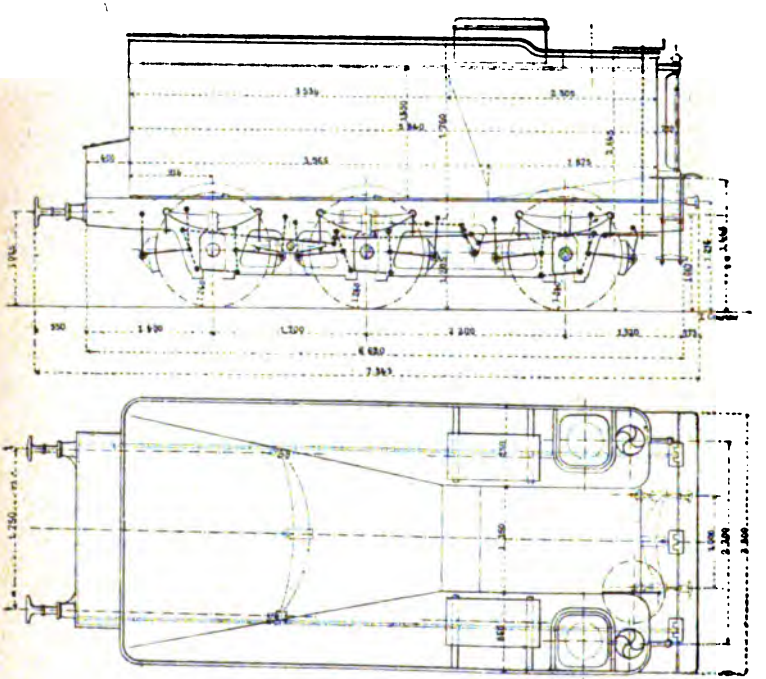


Fig. 86 et 87. — Tender des express de l'*Est*.

la charge, la vitesse, la difficulté du profil. En moyenne, on

peut considérer que la consommation kilométrique se monte à 10 kilogrammes de charbon et à 90 kilogrammes d'eau. L'approvisionnement d'eau d'une machine destinée à effectuer sans arrêt un parcours de 150 kilomètres devra donc se monter, au minimum, à 13.500 litres; encore, pour tenir compte d'une dépense éventuellement plus forte, des pertes dues aux fuites ou à celles qui accompagnent parfois la mise en marche des injecteurs, est-il nécessaire de compter sur un peu plus, soit de 14.500 à 15.000 litres. Les tenders express de construction récente ont même une capacité plus grande, de 16 à 19 tonnes (*Paris-Lyon-Méditerranée*) et même 20 tonnes (*Est*). Quant à l'approvisionnement de charbon, il doit être assez considérable pour suffire au plus grand parcours effectué par la machine, le temps alloué pour les arrêts intermédiaires ne permettant pas de renouveler l'approvisionnement de combustible; celui-ci varie de 3 à 5 tonnes; les approvisionnements constituant, ainsi que le tender, un poids mort, on est conduit à leur donner la valeur la plus faible qui se puisse, étant données les conditions du service.

Le tender doit porter, en outre, les outils nécessaires pour remédier aux avaries qui peuvent survenir en cours de route; ils sont placés dans un coffre spécial, à l'arrière.

On trouvera (*fig.* 86 et 87) en élévation et plan, le dessin simplifié du nouveau tender de 20 mètres cubes de la Compagnie de l'*Est*, dont les dimensions principales sont désignées ci-après :

Longueur totale du tender	7m ,343
— des longerons	6 ,620
Nombre des essieux	3
Empattement	2 ,900
Diamètre des roues à la jante	1 ,080
Hauteur des caisses à eau	1 ,450
Largeur —	2 ,850
Longueur —	5 ,840
Capacité —	20m3,000
Contenance en combustible	5t ,000
Poids du tender à vide	17 ,890
— en charge	42 ,840

86. Locomotives-tenders. — Dans ce qui vient d'être dit nous avons supposé que la locomotive était accompagnée d'un tender séparé portant l'approvisionnement d'eau et de combustible; ce n'est pas toujours le cas. Pour les parcours de faible longueur, on préfère employer des locomotives portant elles-mêmes leur approvisionnement et appelées machines-tenders. On supprime ainsi le poids mort du tender, et la machine, présentant une moins grande longueur totale, peut être tournée sur les plaques ou garée dans les stations terminus où l'on dispose de peu de place. En outre, ce qui est avantageux pour les trains de banlieue à arrêts fréquents, demandant une certaine rapidité de démarrage, on profite, pour l'adhérence, du poids des approvisionnements. Toutefois, quand ceux-ci sont très incomplets ou épuisés, la locomotive se trouve dans les mêmes conditions que les machines à tender séparé. La suppression du tender est également avantageuse pour les trains appelés à circuler sur les lignes à forte rampe, la diminution d'une partie du poids mort ayant alors une grande importance, et le poids du tender formant une proportion beaucoup plus grande du poids total, puisque le tonnage des trains est plus faible.

Les machines-tenders, pour les raisons que nous venons d'exposer, sont employées presque exclusivement pour les services de banlieue. On les retrouve aussi très souvent sur les lignes à fortes rampes.

87. Mode de construction du tender (*fig.* 86 à 89). — Le tender, qui forme, en quelque sorte, un complément de la locomotive, est traité comme elle au point de vue des détails de construction, et non comme les autres véhicules de chemins de fer.

Les tenders sont portés par deux ou quatre essieux; dans ce dernier cas, les essieux sont presque toujours réunis deux à deux pour former un truck articulé. Tous les tenders américains reposent sur deux bogies. Sur le continent européen, on préfère les tenders à six roues pour les machines express et les tenders à quatre roues pour le service des trains mixtes ou des marchandises. La Compagnie du *Nord* a mis en service, il y a quelques mois, des tenders à bogies

qui permettent de parcourir la distance de Paris à Lille (300 kilomètres) sans aucun arrêt. En Angleterre, tous les tenders sont à six roues.

On a intérêt, autant que possible, à accroître le nombre des essieux pour diminuer la charge qu'ils portent, car les tenders fatiguent beaucoup la voie.

Châssis. — Le châssis est constitué, comme celui des machines, par deux longerons, presque toujours extérieurs, reliés par des traverses d'attelage dans les bouts et par des entretoises intermédiaires. Ces longerons sont en tôle découpée et comportent des plaques de garde sur lesquelles on boulonne des glissières disposées comme celles des essieux porteurs des machines, mais sans rattrapage de jeu.

La traverse arrière, qui sert à l'attelage avec le train, est munie des mêmes appareils que la traverse avant de la machine : tampons, tendeur à vis, chaînes de sûreté. La traverse avant comporte les appareils d'attelage avec la machine dont nous avons parlé plus haut : barre d'attelage rigide ou à tendeur, tampons spéciaux, barres de sûreté.

Roues, suspension — Les roues et essieux des tenders ne diffèrent en rien de ceux des roues montées porteuses des machines. Certaines Compagnies commencent à employer des roues pleines. Les bandages sont rapportés.

La suspension est effectuée par des ressorts à lames, presque toujours placés au-dessus des boîtes et de flexibilité analogue à celle des ressorts de machines. Dans les tenders à trois essieux employés en France, on conjugue généralement entre eux les ressorts des deux essieux arrière par des balanciers latéraux.

Caisses à eau. — Les caisses à eau sont, en réalité, indépendantes du châssis, sur lequel elles reposent comme les caisses des voitures sur leurs brancards et auquel elles sont fixées par des boulons facilement démontables. En cas de réparations, on peut facilement enlever les caisses à eau avec leur fond. Souvent on interpose entre elles et les longerons un matelas de bois mince.

Ces caisses ont toujours, en France, la forme d'un fer à cheval, la partie intérieure formée par les deux branches recevant le combustible ; cette portion a été successivement

réduite à mesure que, les distances parcourues sans arrêt ayant été augmentées, on a dû accroître la contenance des caisses.

Les caisses se font en tôle d'acier de 4 millimètres environ d'épaisseur et sont solidement entretoisées par de petits tirants en tôle et des cornières.

On remplit les caisses par une ouverture munie d'un couvercle à charnière et placée à leur partie supérieure vers l'arrière et munie d'un *panier*, sorte de crépine conique, souvent en cuivre perforé, destiné à arrêter les corps étrangers qui viendraient obstruer les tuyaux d'aspiration ou les tuyères des injecteurs.

Les prises des tuyaux d'alimentation se font à la partie inférieure des caisses, vers l'avant; elles sont aussi munies de petites crépines et commandées par des soupapes à vis qui permettent d'interrompre l'écoulement de l'eau en cas de rupture ou de fuite des rotules et du tuyautage d'aspiration.

Frein. — Les tenders sont munis d'un frein agissant sur toutes les roues. Ce frein est du même système que celui de la machine, quand celle-ci est munie d'un frein continu, à air comprimé ou à vide. Il est à main quand la machine ne comporte pas de frein continu. Dans le cas où le frein du tender est mû par l'air comprimé ou le vide, il doit exister néanmoins une commande à main qui sert au cas où le frein continu ne fonctionne pas.

88. Caisses à eau et soutes des machines-tenders. — Les caisses à eau, de forme parallélipipédique, ayant une largeur d'environ $0^m,450$ et une hauteur qui n'excède guère $1^m,400$, sont disposées latéralement, de part et d'autre du foyer et du corps cylindrique, et reposant sur les longerons par l'intermédiaire de consoles rivées et boulonnées. Les caisses ne dépassent guère, à l'avant, l'arrière de la boîte à fumée. Dans les plus récentes machines de la Compagnie de l'*Ouest*, ces caisses s'arrêtent un peu en arrière de l'essieu accouplé avant, de sorte qu'il reste, entre le corps cylindrique et le tablier, un espace libre qui permet d'accéder au mécanisme (*fig.* 86).

Les caisses de droite et de gauche sont réunies par un

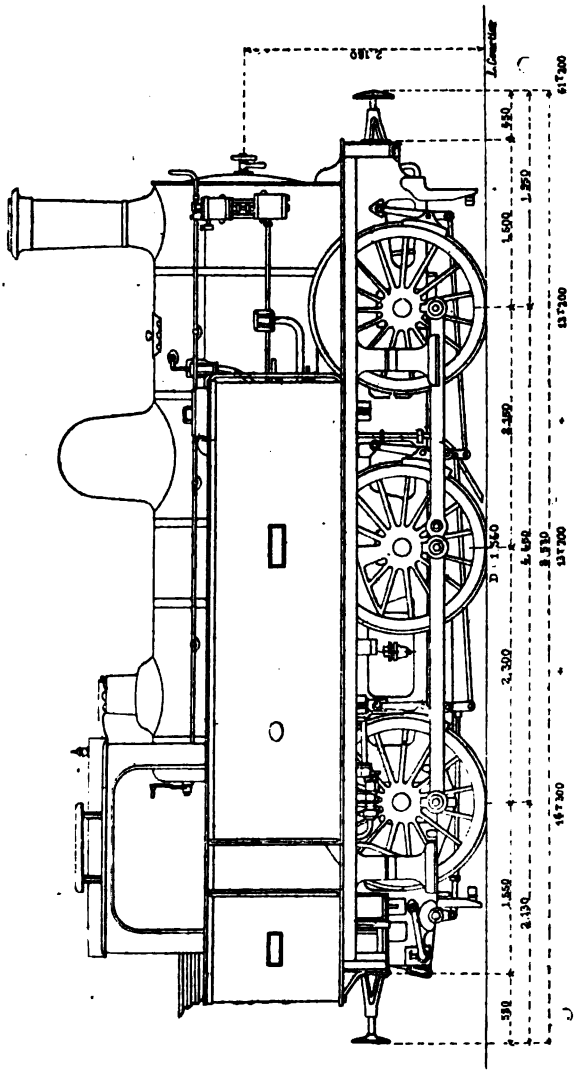


FIG. 88. — Machine-tender de banlieue de la Compagnie de l'*Ouest*.

gros tuyau dont les brides sont boulonnées à leurs fonds et qui passe sous la chaudière ; le niveau reste ainsi le même dans les deux caisses, et on peut les remplir toutes deux à la fois en faisant arriver l'eau dans une seule d'entre elles.

La contenance des caisses des machines-tenders varie de 3 à 6 tonnes.

Les soutes à charbon sont souvent placées du côté gauche, dans un évidement pratiqué à l'arrière de la caisse à eau par le travers de la boîte à feu. La face postérieure, qui regarde la plate-forme, est percée d'une ouverture par laquelle le chauffeur fait écouler le charbon.

Beaucoup de Compagnies préfèrent reporter la soute à charbon sur l'arrière de la plate-forme, comme dans les machines de banlieue à six roues accouplées de la Compagnie de l'*Ouest* (*fig.* 88).

En Angleterre, la plupart des machines-tenders portent trois caisses à eau, communiquant, d'ailleurs, toutes ensemble : deux caisses latérales ne s'avançant pas au-delà du milieu du corps cylindrique et une caisse située derrière la plate-forme, sous la soute à charbon. Comme le poids à l'arrière est alors considérable, on doit placer derrière le foyer soit un essieu porteur à boîtes radiales, soit un bogie.

Les locomotives-tenders américaines ne comportent pas de caisses latérales ; l'approvisionnement d'eau et de charbon se trouve placé entièrement à l'arrière, au-dessus d'un truck articulé.

En Allemagne, on n'a pas encore renoncé à une disposition des caisses qui a été autrefois usitée en France, et ne peut, d'ailleurs, s'appliquer qu'aux locomotives ayant tout le mouvement à l'extérieur des longerons. Nous voulons parler des caisses à eau situées sous la chaudière et évidées pour le passage des essieux.

89. Prise d'eau en route. — La grande contenance que l'on est obligé de donner aux caisses à eau des tenders des machines remorquant les express effectuant de longs parcours sans arrêts, accroît très sensiblement leur poids, ce qui rend leur traction plus onéreuse. Un ingénieur anglais,

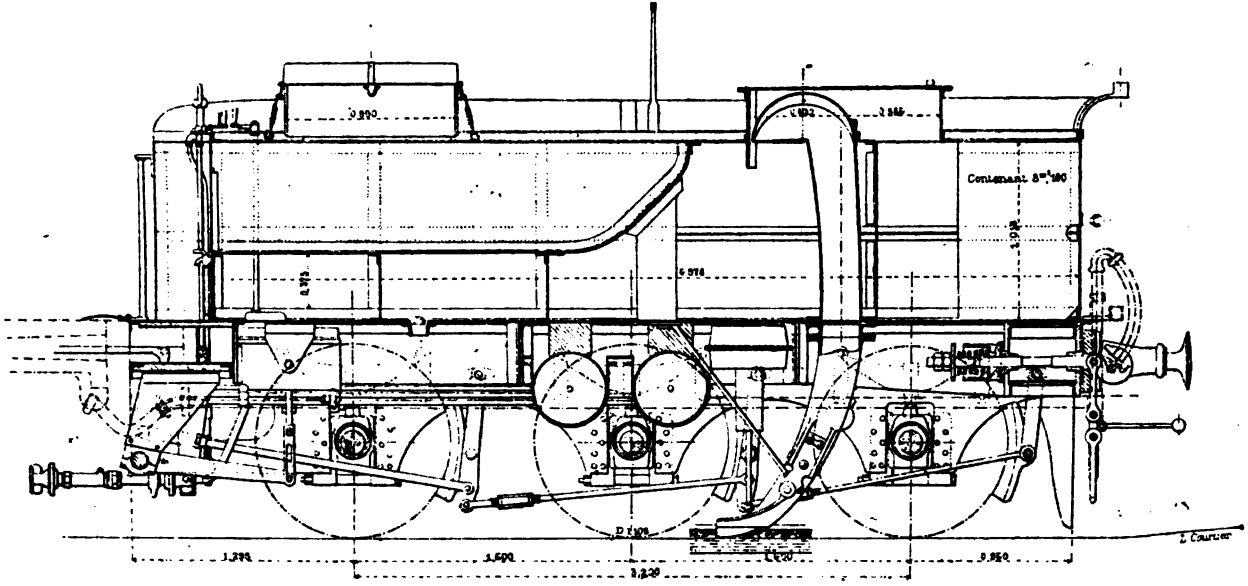


Fig. 89. — Tender anglais muni de l'écope Ramabottom.

M. Ramsbottom, il y a fort longtemps déjà (1862), a eu l'idée de disposer des appareils, permettant le remplissage des caisses à eau pendant la marche; ces appareils sont employés aujourd'hui par quelques Compagnies anglaises et américaines. On peut ainsi opérer le remorquage de trains à très long parcours avec des machines ne possédant que des tenders de contenance relativement faible.

En un point où la voie est parfaitement horizontale, on place sur les traverses, entre les rails, sur une longueur de plusieurs centaines de mètres, des auges métalliques très plates alimentées d'eau par une source voisine ou à l'aide de pompes. Le tender (*fig.* 89) est muni d'une *écope*, sorte de pelle mobile aboutissant dans un tuyau qui débouche à la partie supérieure des caisses. Quand le train arrive en vitesse au-dessus des auges d'alimentation, les agents de la machine abaissent l'écope à l'aide d'une manœuvre soit à main, soit mécanique. La cuiller pénètre de quelques centimètres au-dessous du niveau et, par suite de la vitesse, l'eau s'élève dans le tuyau et remplit la caisse avec une telle rapidité que, si le chauffeur ne relève pas brusquement l'écope au moment voulu, l'eau déborde par la porte de remplissage des caisses et vient inonder le tender.

90. Condensation de la vapeur dans les caisses à eau. — Dans certaines locomotives appelées à circuler fréquemment dans de longs souterrains, il importe d'éviter la projection au dehors de la vapeur et des gaz de la combustion qui vicient l'air et obstruent la vue des signaux. Il en est surtout ainsi des lignes urbaines en souterrain et à trafic intense, comme le *Métropolitain* de Londres, et le prolongement de la ligne de *Sceaux* dans Paris.

A l'aide d'un clapet convenablement disposé commandant un tuyautage spécial, le mécanicien, dès que la machine entre dans une partie souterraine, envoie à l'intérieur des caisses à eau la vapeur d'échappement, qui s'y condense. Le tirage artificiel se trouvant supprimé, l'activité du feu est considérablement réduite, et la cheminée ne livre plus passage qu'à une quantité assez faible de gaz; on peut, d'ailleurs, la boucher à l'aide d'un registre. Dès lors, la machine ne fonc-

tionne plus que grâce à la chaleur accumulée préalablement dans sa chaudière; les trajets qu'elle effectue ainsi ne peuvent donc qu'être de courte durée. On profite des parties en ciel ouvert pour revenir au fonctionnement normal et renouveler l'activité du feu.

L'eau des caisses se réchauffe assez vite et, au bout d'un certain parcours, sa température est trop considérable pour condenser la vapeur. Il faut donc, pour que la pression ne s'élève pas dans les caisses, ménager un orifice de sortie pour le trop-plein de vapeur.

Cette disposition ne s'emploie que pour des machines-tenders, seules usitées d'ailleurs pour les services métropolitains.

CHAPITRE VI

PRINCIPAUX TYPES DE LOCOMOTIVES

91. Les locomotives peuvent se classer en différentes catégories, suivant le nombre de leurs essieux accouplés, selon le genre de service auquel elles sont destinées, suivant qu'elles sont à adhérence totale ou partielle, qu'elles sont à tender séparé ou portent elles-mêmes leur approvisionnement de combustible et d'eau. Elles offrent, en outre, de nombreuses variétés, suivant que leurs cylindres ou leurs longerons sont extérieurs ou intérieurs, suivant le type de foyer adopté et le mode de construction de certains organes importants. Elles empruntent, enfin, aux idées ou aux traditions de leurs constructeurs, des caractères particuliers qui permettent de les distinguer à première vue.

Examinées au point de vue du service auxquelles elles sont destinées, les locomotives se partagent surtout en :

Machines pour trains express sur les lignes à profil facile ;

Machines pour trains rapides et lourds ou pour lignes à profil accidenté ;

Machines mixtes, appelées au remorquage des trains de vitesse et de poids moyens : trains omnibus, trains rapides de marchandises ;

Machines pour trains de marchandises ;

Machines de rampe ;

Machines de banlieue ;

Machines de gare ou de manutention.

Ordinairement, les machines destinées au service des trains rapides sur les lignes à profil facile sont à quatre roues accouplées, d'un diamètre de $1^m,95$ à $2^m,15$. En Angleterre, on

emploie beaucoup de machines à roues indépendantes, d'un diamètre de $2^m,25$ à $2^m,50$.

Les locomotives construites en vue du remorquage des trains rapides et lourds ne se distinguent des précédentes que par un diamètre généralement plus petit de leurs roues ($1^m,75$ à 2 mètres), qui permet un effort de traction plus grand. On accouple souvent trois de leurs essieux, l'avant étant supporté par un essieu radial ou un bogie. Ce type de machine est encore peu usité en France, où les lignes recevant des trains rapides sont généralement d'un profil facile. Aux États-Unis, les express, sur la plupart des lignes, sont remorqués par les locomotives qui, aux yeux des ingénieurs européens, rentreraient toutes dans cette catégorie.

Les machines mixtes sont ordinairement à quatre roues accouplées de $1^m,70$ à $1^m,85$. A vrai dire, il est souvent difficile de les différencier des machines de la catégorie précédente; cependant, elles ont, en général, des chaudières moins puissantes. D'ailleurs, cette appellation de machines mixtes, qui désignait les locomotives à quatre roues accouplées, à une époque où les trains express étaient en France remorqués par des machines à roues libres, semble tomber un peu en désuétude.

Les machines pour trains de marchandises sont à six ou à huit roues accouplées. Dans le premier cas, le diamètre des roues est compris entre $1^m,35$ et $1^m,55$; dans le second, entre $1^m,29$ et $1^m,35$ au plus (à l'exception des récentes machines compound de *Paris-Lyon-Méditerranée :* $1^m,50$). Les machines à six roues accouplées s'emploient surtout pour les trains relativement légers et rapides ou sur les lignes à profil facile; les locomotives à huit roues accouplées se retrouvent sur les lignes à profil accidenté; cependant, la Compagnie du *Nord* les emploie d'une manière générale. La Compagnie de l'*Ouest* n'a pas de locomotives à huit roues accouplées; les chemins de fer de *Paris-Orléans*, de l'*État* et de l'*Est*, ne les emploient que sur les sections difficiles. La Compagnie *Paris-Lyon-Méditerranée* agissait de même autrefois ; mais elle possède maintenant des locomotives à huit roues accouplées de $1^m,50$ de diamètre qui circulent sur la grande ligne et font, sur les lignes accidentées, le service des voyageurs.

En Angleterre, on n'emploie, pour le service des marchandises, effectué à une vitesse relativement élevée, que des locomotives à six roues accouplées.

Les machines de rampes se distinguent des précédentes par un diamètre de roues plus faible, excédant rarement $1^m,25$. Elles ont une chaudière très puissante et sont quelquefois à cinq essieux accouplés. Quand elles sont nettement spécialisées en vue du service des rampes, elles portent ordinairement leur approvisionnement d'eau et de charbon.

Les machines destinées au service des trains de voyageurs de banlieue ont quatre à six roues accouplées; le diamètre de leurs roues varie entre $1^m,45$ et $1^m,70$. Les machines françaises de banlieue sont ordinairement à six roues accouplées d'un diamètre voisin de $1^m,55$. En Angleterre, même pour le service du *Métropolitain*, on préfère les locomotives à quatre roues accouplées d'un diamètre de $1^m,70$ environ. Les machines de ce genre, qui portent toujours leur approvisionnement d'eau et de combustible, doivent présenter une grande compacité et être susceptibles de démarrer facilement et vite, à cause des arrêts fréquents auxquels elles sont soumises.

Les machines de manutention sont appelées à effectuer les manœuvres de trains dans les gares de marchandises et de voyageurs; elles sont toujours, en Europe, du type tender, à six roues accouplées et à adhérence totale. Ces machines, n'ayant à effectuer qu'un travail intermittent, ont des chaudières peu puissantes.

92. Types de machines express. — Les locomotives employées dans les différentes contrées du monde ou même par les différentes Compagnies d'un même pays, diffèrent encore très notablement dans leurs proportions, dans leurs dispositions d'ensemble et de détail, suivant les conditions particulières du service, la qualité du charbon employé et surtout les idées et les convictions des ingénieurs qui les étudient ou des constructeurs qui les exécutent.

Toutefois, à mesure que les communications se complètent, que des voyages plus fréquents, des congrès, des publications techniques mettent en contact plus intime les ingénieurs des différents pays, il semble que la disposition des machines

tend vers une plus grande unité, vers une sorte de type commun ou plutôt vers deux ou trois types communs. Ce qui est vrai pour les dispositions d'ensemble l'est aussi pour les arrangements de détail de la forme extérieure; seules, certaines proportions restent très différentes en raison des qualités si diverses des combustibles. Il nous semble que ce phénomène doit s'accentuer de jour en jour.

D'ailleurs, à prendre les choses un peu largement, il n'existe, à vrai dire, que deux types de locomotives express : le type d'origine anglo-américaine, dans lequel les roues accouplées sont à l'arrière et qui comporte à l'avant un bogie ou un essieu porteur, le type d'origine française possédant quatre roues accouplées comprises entre deux essieux porteurs. Dans ces deux genres de machines, les cylindres peuvent être intérieurs ou extérieurs. Or, dans l'état actuel des choses, il est indiscutable que le premier type, lequel se prête un peu mieux à la suppression des porte-à-faux vers l'avant, se répand de plus en plus et tend à devenir le type général en France, comme ailleurs, surtout depuis que l'on ne craint plus d'élever le centre de gravité des locomotives, ce qui permet d'agrandir la grille en la faisant passer au-dessus de l'essieu accouplé et en remontant la chaudière.

La machine express avec bogie à l'avant semble donc le type de l'avenir ; c'est déjà, et de beaucoup, le plus employé en tous pays.

93. Locomotives à roues indépendantes. — A l'origine des chemins de fer, les locomotives destinées au service des trains de voyageurs étaient portées par trois essieux indépendants, dont un essieu moteur placé au milieu. Plus tard, quand le poids des trains augmenta, la constitution des voies ne permettant guère d'accroître la charge des roues motrices, on dut accoupler un second essieu pour obtenir une adhérence suffisante, et la locomotive à quatre roues accouplées devint le type normal de la machine à voyageurs. On reconnaissait toutefois que les locomotives à essieux indépendants présentaient certains avantages sur les machines à roues accouplées au point de vue surtout du roulement, du rendement mécanique et des frais d'entretien. Aussi quelques

Compagnies de chemins de fer, en France et en Angleterre, notamment, en conservèrent-elles longtemps l'usage pour leurs trains les plus rapides, tant qu'ils furent suffisamment légers. En Angleterre, on préférait les machines dans lesquelles l'essieu moteur se trouvait au centre, tandis qu'en France la faveur se reporta sur le type Crampton. Peu à peu, ces locomotives disparurent, chez nous, du service des grandes lignes, à part de très rares exceptions. En Angleterre, quelques Compagnies importantes n'ont jamais cessé d'employer pour leurs trains rapides des machines à roues indépendantes, successivement plus puissantes. Ce type de locomotive paraissait cependant, même chez nos voisins, condamné à une disparition prochaine, lorsque le renouvellement et la consolidation des voies, en permettant de plus grandes charges sur les essieux, vinrent lui donner un nouvel essor.

Sur presque toutes les grandes lignes anglaises, les locomotives à roues indépendantes ont remplacé, pour la traction des trains express, sur les grandes lignes à profil relativement facile, les locomotives à quatre roues accouplées précédemment employées. Il y a, certes là, une tendance fort remarquable et qui ne saurait, on le conçoit, être attribuable à un engouement passager. On doit même constater que, sur toutes les lignes où la machine à roues libres a été introduite, elle s'est développée d'une manière continue, ce qui prouve indubitablement en faveur des résultats obtenus.

L'Amérique elle-même, pourtant le pays des trains lourds, semble également convertie, et les essais récemment effectués sur le *Philadelphia and Reading* paraissent avoir été si convaincants que le temps est proche, sans doute, où la locomotive à roues libres se répandra, tout au moins pour la traction de quelques trains très rapides, de l'autre côté de l'Atlantique, où, pourtant, contrairement à ce qui s'est passé pour l'Angleterre, elle n'a jamais été usitée.

En France, les anciennes Crampton, reléguées depuis longtemps sur des lignes d'intérêt local, ont maintenant presque toutes disparu, et, dans les trente dernières années, il n'a pas été construit de locomotives à essieux indépendants.

La locomotive à essieu moteur unique présentant, toutes choses égales d'ailleurs, un poids adhérent inférieur à celui des machines à quatre roues accouplées, son emploi ne s'expliquerait pas, si elle ne présentait, par ailleurs, des avantages spéciaux qu'il n'est pas sans intérêt de rappeler.

La suppression de l'accouplement se traduit d'abord par une diminution du poids total et des dépenses d'établissement, puisqu'une des paires de roues accouplées, de grand diamètre, est remplacée par une paire de roues porteuses, plus petites, et que les bielles d'accouplement n'existent pas, non plus que leurs boutons, si les châssis sont intérieurs, ou que leurs manivelles, si les longerons sont extérieurs.

Ensuite, le rendement mécanique est meilleur, grâce à la diminution du nombre des articulations et des parties frottantes et à la suppression des glissements qui se produisent toujours dans les locomotives à essieux accouplés, le diamètre au roulement des roues motrices et accouplées ne restant jamais rigoureusement le même, après quelque temps de service, par suite de la dureté différente des bandages et des charges inégales qu'ils supportent. La suppression des bielles d'accouplement, forcément longues, quand les roues sont de grand diamètre, élimine les risques de rupture de ces bielles en service sous l'action des efforts qu'y développe la force centrifuge aux grandes vitesses; elle permet, en outre, de donner plus de souplesse à la machine et d'allonger le foyer vers l'arrière autant qu'il est désirable, le cadre de la boîte à feu pouvant passer facilement au-dessus de l'essieu porteur arrière, sans qu'il soit nécessaire ou de trop élever la chaudière, ou de réduire la profondeur du foyer. Ces avantages paraissent nettement marqués en pratique, et les Compagnies qui emploient des locomotives à roues libres sont unanimes pour déclarer que ces locomotives, tout en atteignant plus facilement de grandes vitesses, présentent, pour un travail utile donné, une consommation inférieure à celle des machines à quatre roues accouplées et nécessitent des frais d'entretien sensiblement inférieurs.

Ces avantages, il est vrai, ne sont obtenus qu'aux dépens du poids adhérent, ce qui limite l'emploi de ces machines au remorquage des trains très rapides et de poids modéré. Le

principal inconvénient des machines à roues indépendantes consiste dans une certaine lenteur au démarrage, que l'on peut atténuer, il est vrai, par l'emploi de la sablière à vapeur.

La plupart des Compagnies anglaises remorquent actuellement leurs grands express avec des locomotives à roues libres d'un diamètre variant de $2^m,26$ à $2^m,50$, et qui ont des chaudières aussi puissantes que les machines à quatre et même à six roues accouplées. Nous donnerons comme exemple (*fig.* 90) le type du *Midland Railway*, dont un spécimen a été

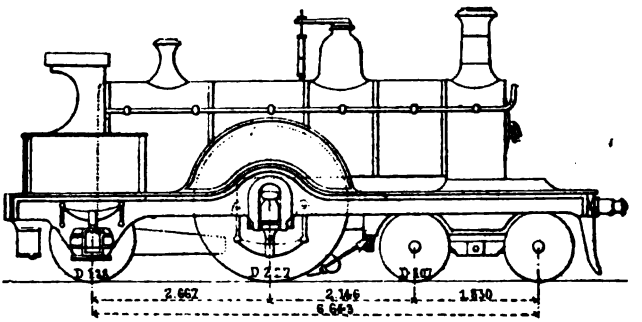


Fig. 90. — Express à roues libres du *Midland Railway*.

fort admiré à l'Exposition de 1889. L'essieu moteur, indépendant, qui porte 18 tonnes, est compris entre un bogie placé à l'avant et un essieu porteur situé à l'arrière du foyer. Le châssis est intérieur; les cylindres et tout le mécanisme sont intérieurs. Cette machine, d'un très bel aspect, remorque, sur des lignes à profil assez facile, des trains express pesant 160 tonnes à une vitesse commerciale de 85 kilomètres à l'heure.

94. Locomotives à quatre roues accouplées. — L'adhérence des machines à roues libres est souvent insuffisante pour le démarrage ou sur les parties difficiles du profil, surtout si le rail est gras, particulièrement dans les contrées où la charge par essieu se trouve limitée à un chiffre assez bas. On y remédie en accouplant une seconde paire de roues de même diamètre. Le poids adhérent, qui ne peut guère dépas-

ser 18 tonnes dans les locomotives à roues indépendantes, peut atteindre, dans ces locomotives à quatre roues accouplées, 32 à 33 tonnes; aux États-Unis, on a même été jusqu'à 39 tonnes. Il serait nuisible, pour les machines à très grande vitesse, d'accoupler un troisième essieu, parce que la machine roulerait moins bien, serait moins souple et plus compliquée; le diamètre usuel des cylindres et des roues motrices ne pourrait, en outre, lui permettre d'utiliser une adhérence supérieure à celle de deux paires de roues.

La machine à quatre roues accouplées constitue le type à peu près général de la machine express. Elle remorque des trains rapides dont le poids net, non compris celui de la machine et de son tender, varie en Europe de 120 à 200^{t},00. Aux États-Unis, le poids des express remorqués par ces locomotives s'élève jusqu'à 300 tonnes.

Les deux essieux accouplés peuvent être à l'arrière, l'avant reposant sur un essieu porteur ou un bogie. C'est le type le plus en faveur aujourd'hui et qui, peu à peu, supplante tous les autres. On le retrouve sur toutes les lignes anglaises, allemandes, italiennes, américaines; en France, il est adopté exclusivement par les Compagnies du *Nord*, de l'*Est*, de l'*Ouest*, du *Midi* et, récemment, de *Paris-Lyon-Méditerranée*. Les cylindres et les longerons peuvent être intérieurs ou extérieurs.

Les deux essieux accouplés peuvent être placés entre deux essieux porteurs situés aux extrémités; c'est un type d'origine française et qui a été surtout en faveur à l'époque où l'on tenait chez nous à donner aux tubes une grande longueur. C'est le modèle de tous les express de la Compagnie d'*Orléans* et celui des anciennes machines de *Paris-Méditerranée*. On le retrouve en Autriche et sur quelques lignes des États-Unis.

Les deux essieux accouplés sont placés à l'avant, et l'arrière repose sur un essieu porteur passant derrière ou sous le foyer. C'est surtout un type de machine mixte. On préfère aujourd'hui attaquer la voie par des roues de faible diamètre et surtout par un bogie. A l'avenir, on ne construira plus guère de ces machines, si ce n'est pour le service de la banlieue, avec des diamètres de roues n'excédant pas 1^{m},75. Il y

a un grand nombre de machines-tenders de ce modèle, en Angleterre, qui ont un bogie sous la plate-forme.

Nous donnons, dans les figures 91 à 103, plusieurs exemples typiques des locomotives de cette classe.

Figure 91 : type *Outrance*, employé exclusivement, pendant une vingtaine d'années, au service des express de la Compagnie du *Nord ;* il est peu à peu remplacé par les machines compound à quatre cylindres dont nous parlerons plus loin. Cette machine est à cylindres intérieurs et à longerons

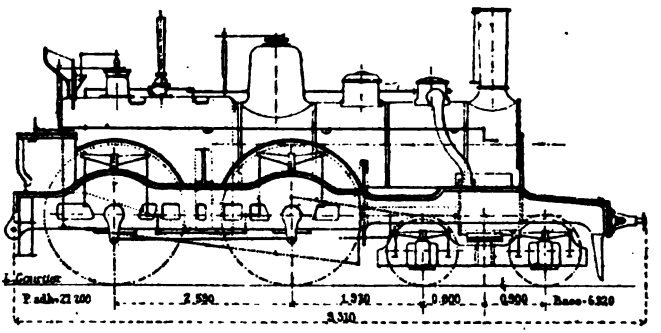


Fig. 91. — Express du Nord (type *Outrance*).

doubles ; les deux essieux accouplés sont à l'arrière, l'un d'eux passant sous le foyer, qui est assez plat. Ce type de locomotive est le premier auquel on ait, en France, appliqué le truck articulé. Les premiers spécimens avaient un essieu porteur à l'avant et un foyer profond ; ils ont été modifiés peu à peu et ont reçu d'abord un foyer à grande grille permettant de brûler du tout-venant (1875), puis un bogie pour remplacer l'essieu porteur (1878).

Figure 92 : type express à bogie adopté par la Compagnie de l'*Ouest*, qui en possède aujourd'hui un assez grand nombre. C'est une machine puissante, très stable, et d'un fort bel aspect. Les deux essieux accouplés, entre lesquels descend le foyer, sont placés à l'arrière ; bogie à déplacement latéral à l'avant. Cylindres et mécanisme intérieurs.

Diamètre des cylindres.....	0m,460
Course des pistons	0 ,660
Diamètre des roues motrices.....	2 ,040
Poids adhérent en charge.....	28T,000
— total —	44 ,800

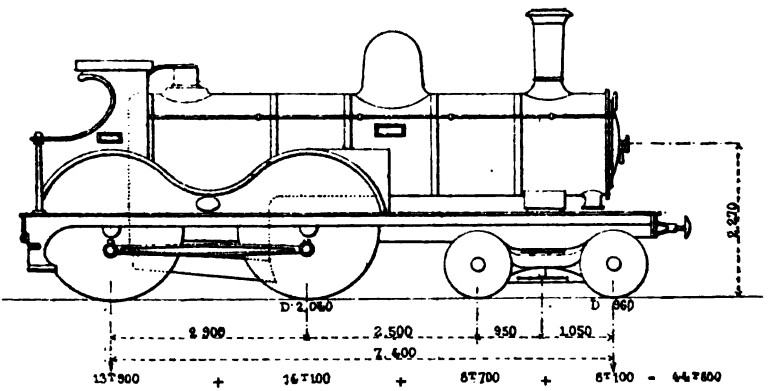


Fig. 92. — Express à bogie de l'*Ouest*.

Figure 93 : type du *Midland Railway* (Angleterre), qui représente d'une manière très complète la pratique générale an-

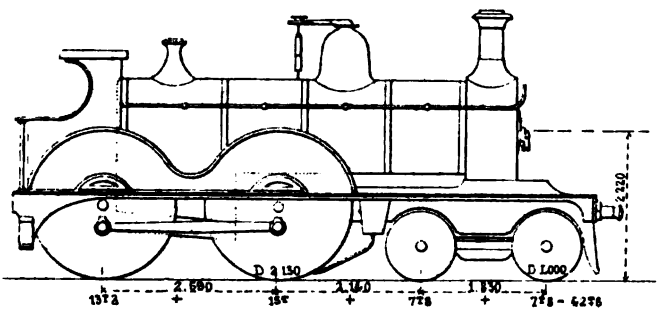


Fig. 93. — Express du *Midland*.

glaise. Les cylindres, tout le mécanisme et les longerons sont intérieurs aux roues. Les tubes sont de faible longueur ; le

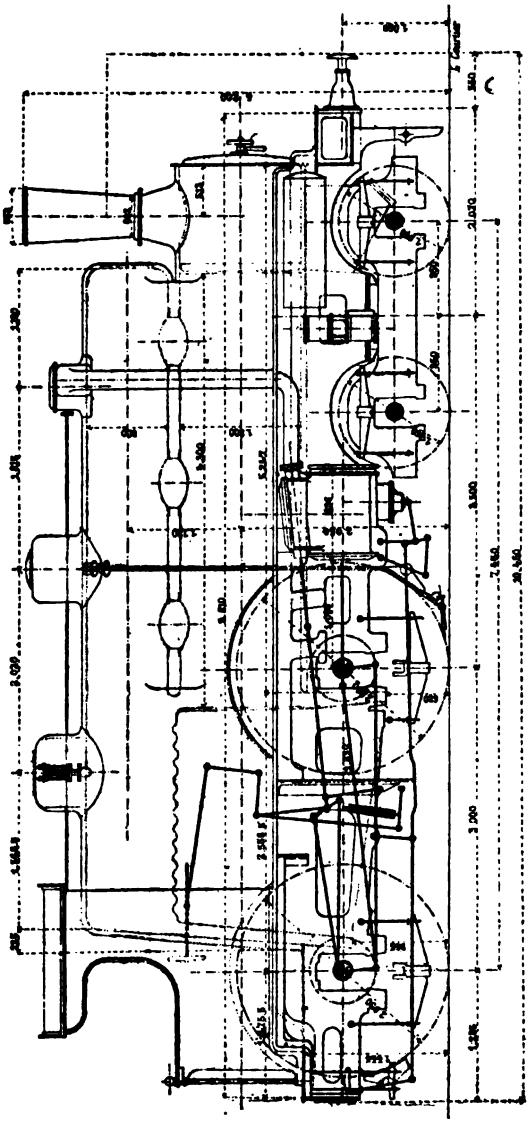


FIG. 94. — Express de l'Est.

foyer, profond, plonge entre les deux essieux accouplés. Aspect extérieur très simple.

Surface de chauffe	117m²,20
— grille	1 ,63
Diamètre des cylindres	0m ,46
Course des pistons	0 ,66
Diamètre des roues motrices	2 ,13
Poids adhérent en charge	29T ,60
— total —	42 ,80

Figure 94 : locomotive express de la Compagnie de l'*Est* avec chaudière Flamant. Les cylindres, extérieurs, sont placés vers le milieu de la machine et attaquent l'essieu arrière. Cette machine dérive de l'ancienne Crampton, longtemps fort en faveur sur le réseau de l'*Est*. On a accouplé une paire de roues et placé un bogie à l'avant, mais la disposition d'ensemble a peu varié : on a gardé l'arrangement général du mécanisme et les longerons doubles.

Surface de chauffe	168m²,29
— grille	2 ,42
Diamètre des cylindres	0m ,47
Course des pistons	0 ,66
Diamètre des roues motrices	2 ,10
Poids adhérent en charge	33T ,40
— total —	56 ,80

Figure 95 : machine express des chemins de fer de la *Médi-*

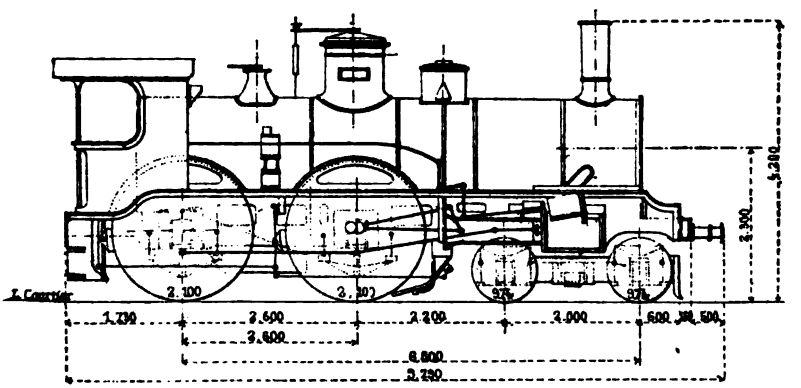


Fig. 95. — Express à bogie des chemins de fer de la *Méditerranée* (Italie).

terranée (Italie), à cylindres et mécanisme extérieurs, longerons intérieurs. Bogie à l'avant; le foyer passe au-dessus de l'essieu arrière. C'est l'extension d'un type plus ancien et moins puissant.

Surface de chauffe	121m²,00
— grille	2 ,30
Diamètre des cylindres	0m ,45
— roues motrices	0 ,62
Poids adhérent en charge	29T ,00
— total —	47 ,00

Figure 96 : type express américain du *Baltimore and Ohio Railroad*. La chaudière, très puissante, est placée à une grande hauteur, et le foyer s'étend au-dessus de l'essieu accouplé. L'avant est supporté par un truck articulé. Les cylindres

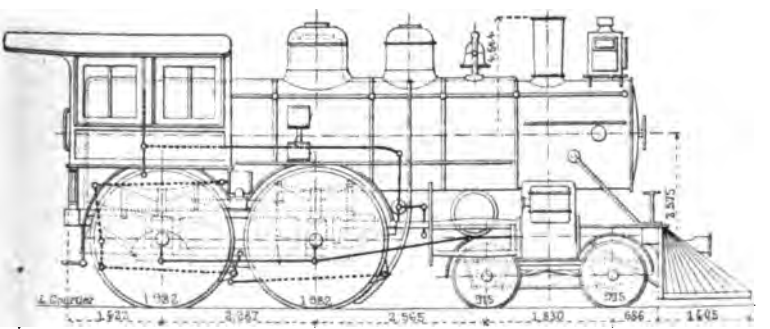


Fig. 96. — Machine express américaine.

extérieurs sont placés entre les roues du bogie et surmontés de leurs boîtes à tiroir. Les excentriques sont intérieurs et commandent les tiroirs par l'intermédiaire d'un arbre de renvoi, disposition absolument générale aux États-Unis. Abri très complet placé au-dessus des roues arrière.

Surface de chauffe	145m²,750
— grille	2 ,600
Diamètre des cylindres	0m ,483
Course des pistons	0 ,610
— roues motrices	1 ,829
Poids adhérent en charge	33T ,640
— total —	51 ,550

Figure 97 : machine compound à quatre cylindres du dernier type mis en service par la Compagnie de *Paris-Lyon-Méditerranée* Les deux essieux accouplés sont placés à l'arrière, et le bogie à l'avant ; chaudière à tubes Serve et à

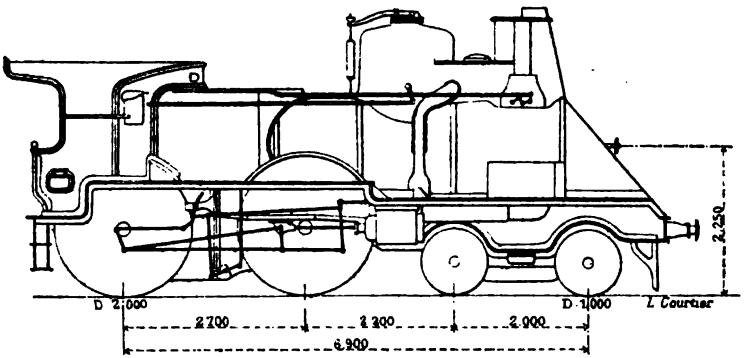


Fig. 97. — Express compound de *Paris-Lyon-Méditerranée.*

grande boîte à fumée. Deux cylindres extérieurs à haute pression actionnent l'essieu arrière, deux cylindres de détente, intérieurs, commandent l'essieu accouplé avant. Pour ce qui est de la disposition des cylindres, de la distribution et de son réglage, nous renvoyons au chapitre relatif aux *locomotives compound.*

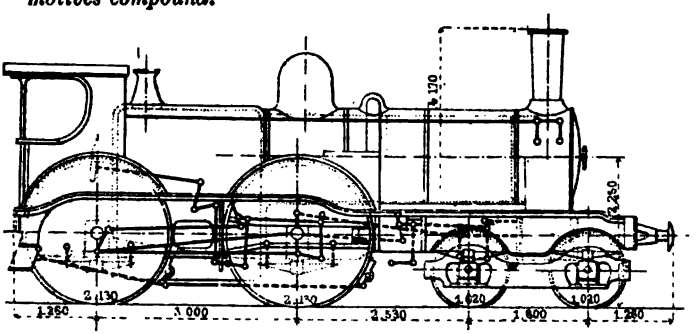


Fig. 98. — Express compound du *Nord.*

Figure 98 : Machine express compound à quatre cylindres

de la Compagnie du *Nord*. Même observation que pour la précédente.

Figure 99 : locomotive express des chemins de fer de l'*État*, d'un type très connu, auquel appartient aussi la presque totalité des locomotives à grande vitesse du chemin de fer d'*Orléans*, où il a été créé. Ce type dérive de l'ancienne machine à foyer en porte-à-faux, à laquelle on a ajouté après coup un essieu à l'arrière du foyer pour augmenter la stabilité.

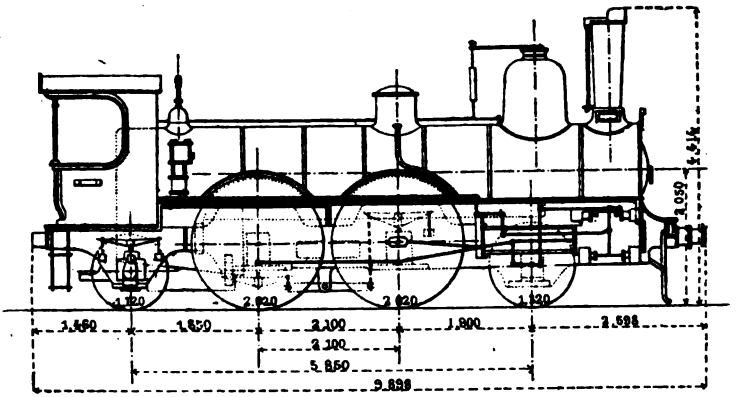


Fig. 99. — Express des chemins de fer de l'*État*.

Les longerons sont intérieurs; mais, à cause de la proximité du foyer, on a disposé à l'arrière un petit longeronnet extérieur pour les boîtes de l'essieu porteur. La chaudière, à tubes longs, est placée très bas. Les cylindres et tout le mécanisme sont extérieurs. Dans les derniers types construits, la distribution est du type à déclic Bonnefond; les roues porteuses sont à centres pleins.

Figure 100 : locomotive express de la Compagnie d'*Orléans*, modèle de 1889. Comme dans l'ancien type du même réseau, les roues accouplées sont comprises entre deux paires de roues porteuses; la chaudière est plus puissante, les cylindres sont intérieurs, mais la distribution et les boîtes à tiroir sont extérieures. Le foyer est du système Ten Brinck, avec armatures Polonceau; la chaudière comporte deux dômes réunis

par un tuyau horizontal, disposition ayant pour but d'aug-

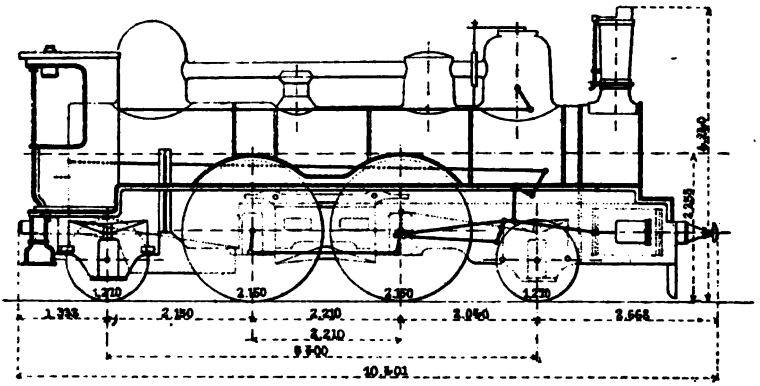


Fig. 100. — Express de la Compagnie d'*Orléans*.

menter le volume de vapeur et de faciliter la circulation de la vapeur dans la chaudière.

Surface de chauffe.....	154m²,240
— de grille.....	2 ,250
Diamètre des cylindres.....	0m ,440
Course des pistons.....	2 ,700
Diamètre des roues motrices.....	2 ,100
Poids adhérent en charge.....	29T ,940
— total —	52 ,000

Figure 101 : machine express de l'*État Belge* présentant la même disposition d'essieux accouplés et porteurs, mais caractérisée par un grand nombre de dispositions spéciales. Le foyer, disposé pour brûler des menus, s'élargit vers l'arrière, de manière à passer au-dessus des roues porteuses dans la partie qui se trouve à l'arrière des roues accouplées. La boîte à fumée est prolongée sur l'avant comme dans les machines américaines ; la cheminée, pour adoucir le tirage, est de très grande section et rectangulaire. Les longerons sont extérieurs ; la suspension est effectuée sur trois points,

grâce à des balanciers latéraux et à un balancier transversal.

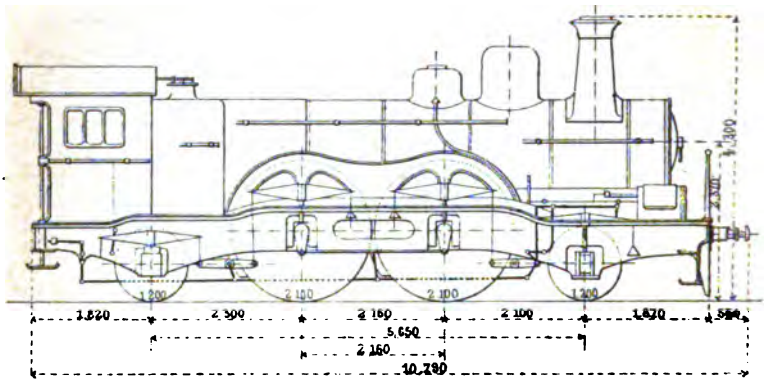


Fig. 101. — Express de l'*État Belge*.

Surface de chauffe	124m²,67
— de grille	4 ,82
Diamètre des cylindres	0m ,50
Course des pistons	0 ,60
Diamètre des roues motrices	2 ,10
Poids adhérent en charge	26T ,20
— total —	49 ,00

Figure 102 : machine mixte du *Nord* à roues accouplées sur

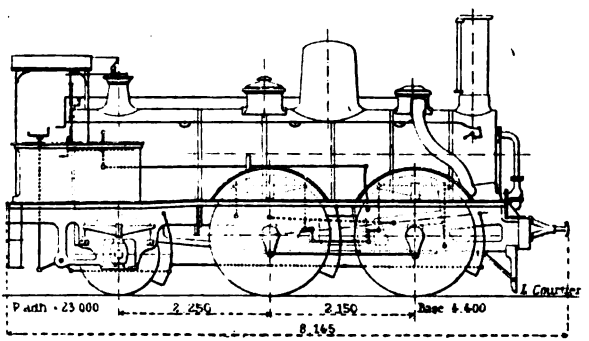


Fig. 102. — Machine mixte du *Nord*.

l'avant et à cylindres intérieurs. C'est un type un peu ancien

déjà, mais qui a fait ses preuves et se comporte très bien en vitesse.

Figure 103 : machine express du *Brighton Railway*, analogue

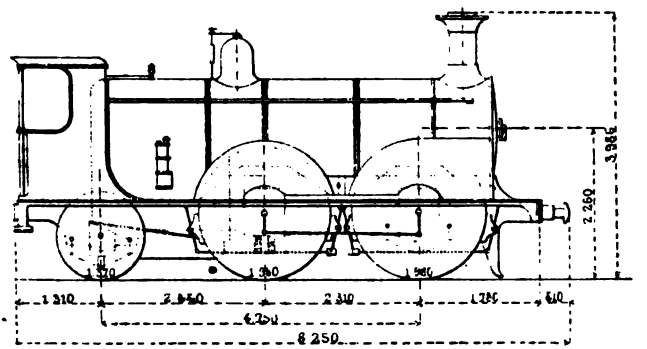


Fig. 103. — Express du *Brighton Railway*.

à la précédente, mais un peu plus puissante et d'aspect extérieur plus simple.

95. Locomotive à six roues accouplées. — Les locomotives à trois essieux accouplés servent soit au service des trains de voyageurs très lourds ou sur profil accidenté, soit des trains de marchandises sur les profils faciles.

En France, jusqu'ici, leur rôle s'est surtout borné aux trains de marchandises et, exceptionnellement, aux trains mixtes et omnibus, mais leurs attributions peuvent se développer dans l'avenir. Leur emploi pour les trains de voyageurs est général aux États-Unis, fréquent en Suisse et sur les lignes accidentées de la Belgique.

Les machines à six roues accouplées, destinées au service des voyageurs, ne sont que très rarement à adhérence totale. Le plus souvent elles comportent un essieu porteur ou un bogie à l'avant.

On trouvera, dans les figures 104 à 107, quelques exemples bien caractéristiques de ces machines :

Figure 104 : machine de la Compagnie d'*Orléans*, du type exposé en 1889 et décrit ailleurs.

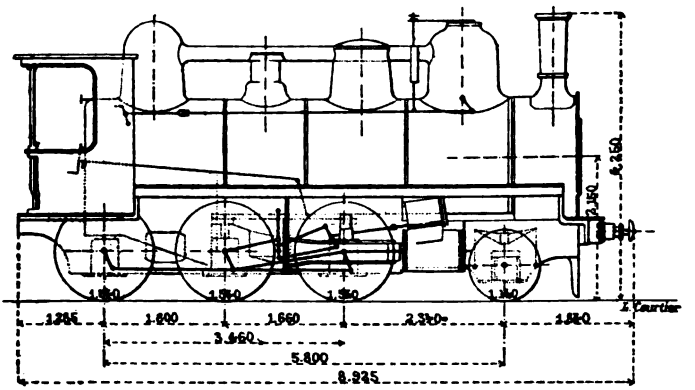


Fig. 104. — *Paris-Orléans.*

Figure 105 : machine de l'*État Belge*, à six roues accouplées, à longerons extérieurs et à cylindres intérieurs, dérivée du

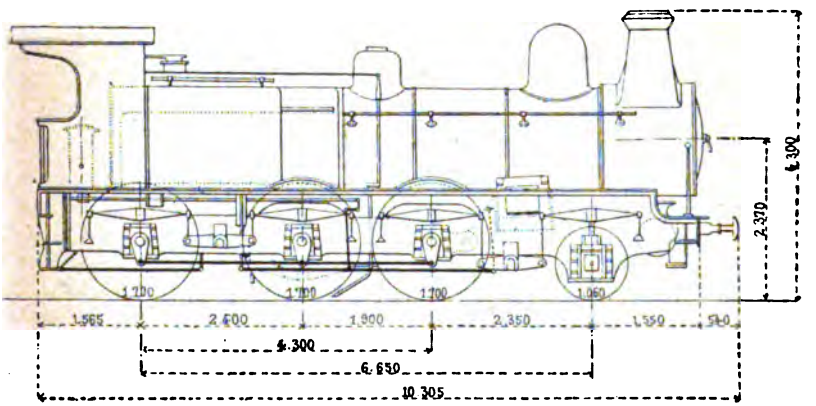


Fig. 105. — *État Belge.*

type ordinaire à marchandises de cette administration, mais possédant des roues de plus grand diamètre, une chaudière

plus volumineuse et un essieu porteur. La grille est élargie vers l'arrière et passe au-dessus des roues. Les cylindres sont placés entre les deux essieux avant. La machine est suspendue sur trois points, grâce à un jeu de balanciers latéraux et transversaux. Cette locomotive peut remorquer un train de 100 tonnes, en rampe de 16 millimètres, à la vitesse moyenne de 65 kilomètres à l'heure. Ses dimensions principales sont les suivantes :

Surface de chauffe	146m²,22
— de grille	5 ,72
Diamètre des cylindres	0m ,50
Course des pistons	0 ,60
Diamètre des roues motrices	1 ,70
Poids adhérent en charge	41T ,10
— total —	53 ,10

Figure 106 : machine de la Compagnie des chemins de fer de la *Méditerranée* (Italie). Les machines de ce modèle ont été

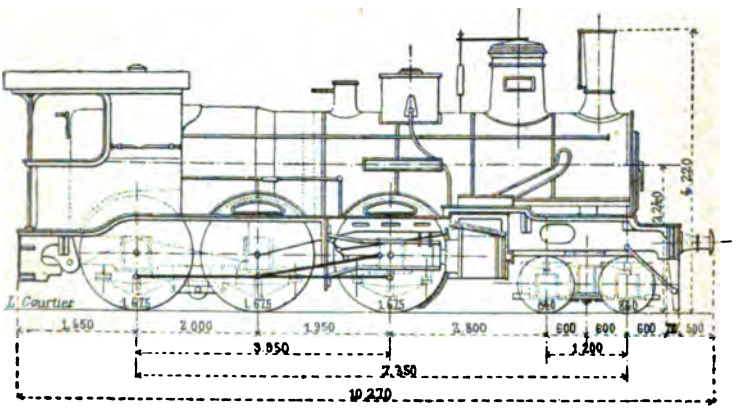


Fig. 106. — *Méditerranée* (Italie).

étudiées en vue du service de la nouvelle ligne qui, de Gênes à Ronco, double le passage de Giovi et présente, sur une longueur de 26 kilomètres, une inclinaison presque continue de 16 millimètres. Ces locomotives peuvent remorquer sur ces

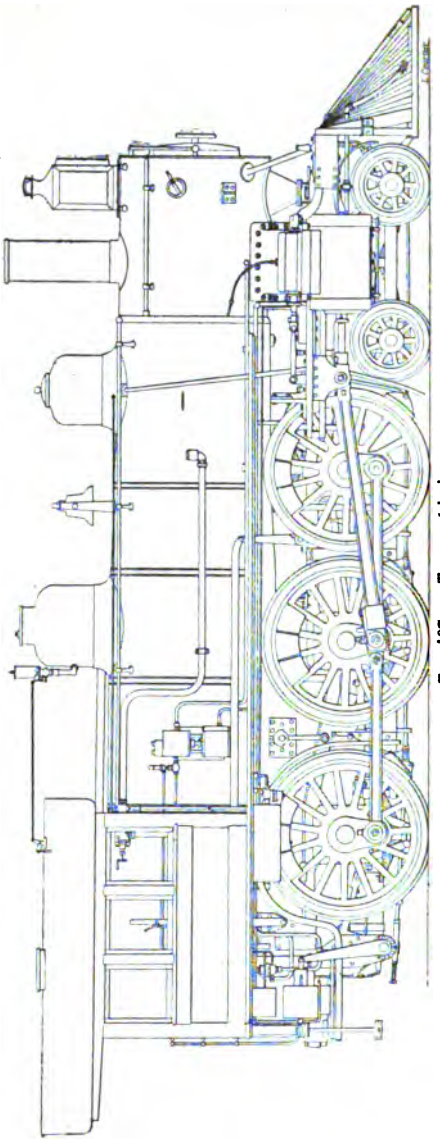


FIG. 107. — Type américain.

rampes des trains de 160 tonnes à la vitesse de 45 kilomètres. On a placé à l'avant un bogie qui a permis de porter à 160 mètres carrés la surface de chauffe sans surcharger les rails.

Les cylindres sont extérieurs, et les longerons intérieurs.

Surface de chauffe.....	159m²,80
— de grille.....	2 ,24
Diamètre des cylindres.....	0m ,47
Course des pistons.....	0 ,62
Poids adhérent en charge.....	42T ,30
— total —	56 ,70

On trouvera (*fig.* 107) la vue extérieure d'une locomotive américaine à trois essieux accouplés et à bogie d'un type que l'on retrouve sur presque toutes les lignes américaines. Roues accouplées de 1m,70 ; poids total en charge, 66 tonnes; surface de chauffe, 170 mètres carrés ; surface de grille, 2m²,50 ; cylindres de 0m,490 de diamètre et de 0m,610 de course. Sur les lignes faciles, ces locomotives remorquent des trains de voyageurs dont le poids peut s'élever à 400 tonnes.

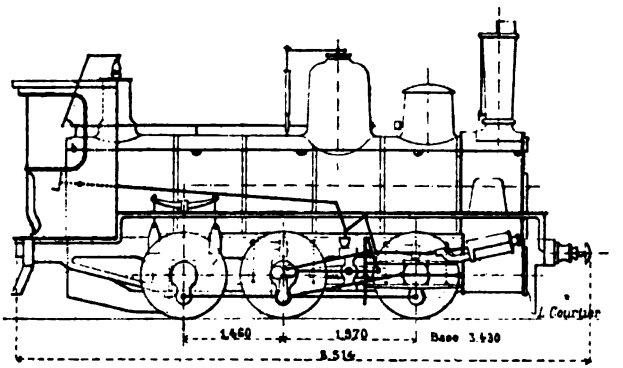


Fig. 108. — *Paris Orléans.*

Quant aux machines à marchandises, elles sont, dans la majorité des cas, à adhérence totale et à six roues accouplées. On en trouvera trois exemples dans les figures 108

à 110. La première locomotive est du type courant de la Compagnie d'*Orléans* : les six roues accouplées ont $1^m,35$ de diamètre; la surface de chauffe est de $147^{m2},80$; et le poids

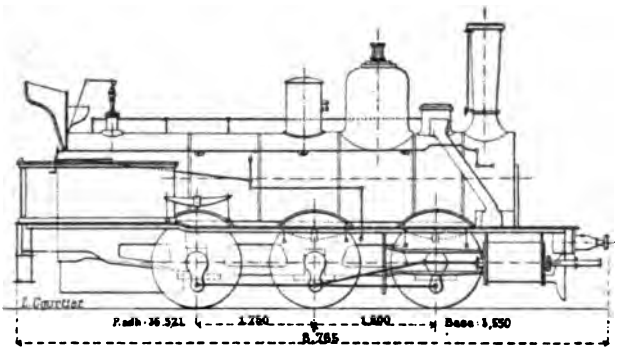


Fig. 109. — *Est.*

total de $38^T,15$. Les cylindres et tout le mécanisme sont extérieurs. Le foyer est en porte-à-faux.

La figure 109 représente une machine analogue, mais un

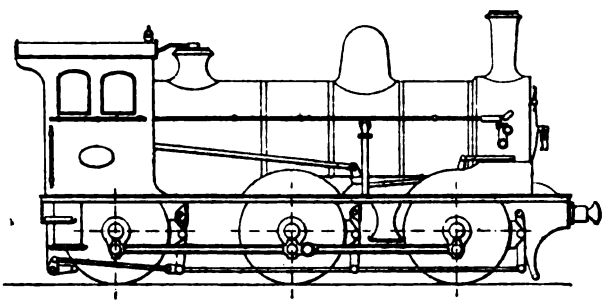


Fig. 110. — Type anglais.

peu plus légère, du type de la Compagnie de l'*Est*. Les cylindres sont extérieurs, mais le mécanisme de distribution est intérieur. Les roues ont $1^m,40$ de diamètre, et la surface de chauffe est de 109 mètres carrés. Cette machine pèse $36^T,5$.

Enfin, la figure 110 représente le type courant, en Angleterre, de machine à marchandises à cylindres intérieurs. Les six roues accouplées ont $1^m,55$ de diamètre et présentent un empattement assez considérable, car ces machines n'ont pas de porte-à-faux, le foyer plongeant entre les deux essieux accouplés arrière.

Aux États-Unis, on ajoute toujours un bissel à l'avant des cylindres dans les machines à marchandises à six roues accouplées; c'est le type dit *Mogul*.

96. Locomotives à huit roues accouplées. — Ce sont des machines à marchandises pour trains lourds ou pour profils accidentés. En France, elles sont surtout employées par les Compagnies du *Nord*, du *Midi* et de *Paris-Lyon-Méditerranée*, bien que d'autres administrations en possèdent d'assez nombreux spécimens.

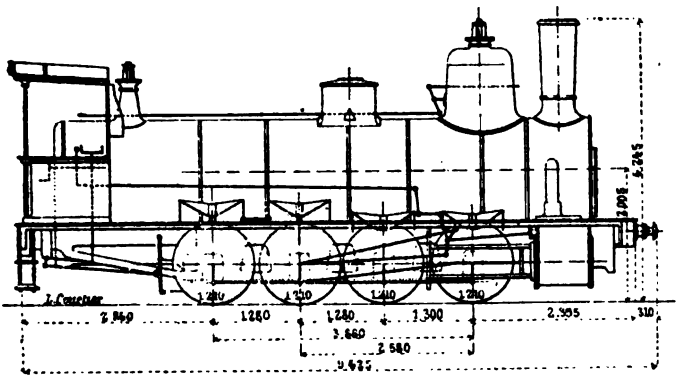


Fig. 111. — *Midi*.

En France, ces machines sont toutes à cylindres et mécanisme extérieurs et à longerons intérieurs. La figure 111, donnant la disposition générale de la machine du *Midi*, peut servir de type. Cette locomotive pèse 54 tonnes en charge; elle est montée sur des roues de $1^m,21$ de diamètre, dont les essieux sont ramenés sous le corps cylindrique, qui est très long; le foyer est en porte-à-faux. La surface de chauffe est

de 188 mètres carrés environ. Cylindres de $0^m,54 \times 0^m,61$. Cette locomotive est surtout employée pour l'exploitation des lignes de montagne dont les rampes atteignent jusqu'à 33 millimètres.

La locomotive à marchandises du *Nord* diffère un peu de la précédente ; le foyer, au lieu de se trouver en porte-à-faux, passe au-dessus de l'essieu arrière ; les roues ont $1^m,300$ de diamètre.

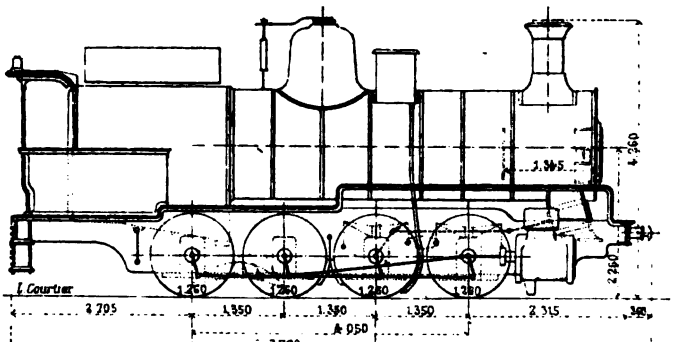


FIG. 112. — *Paris-Lyon-Méditerranée.*

On trouvera, dans la figure 112, un schéma de la machine de rampe, à quatre cylindres compound, de la Compagnie *Paris-Lyon-Méditerranée ;* la disposition générale est la même que celle de la locomotive pour trains de marchandises rapides décrite ailleurs. Les roues ont $1^m,26$ de diamètre ; deux des cylindres sont intérieurs et actionnent le second essieu ; deux autres sont extérieurs et commandent le troisième essieu. Le poids total est de 57 tonnes.

On emploie, aux États-Unis, des locomotives à huit roues accouplées comportant, à l'avant des cylindres extérieurs, un bissel ou quelquefois même un bogie, comme on le voit sur la figure 113, qui représente une très puissante machine pesant 78 tonnes en ordre de marche, possédant des cylindres de $0^m,56$ de diamètre et de $0^m,61$ de course, avec une surface de chauffe de 225 mètres carrés.

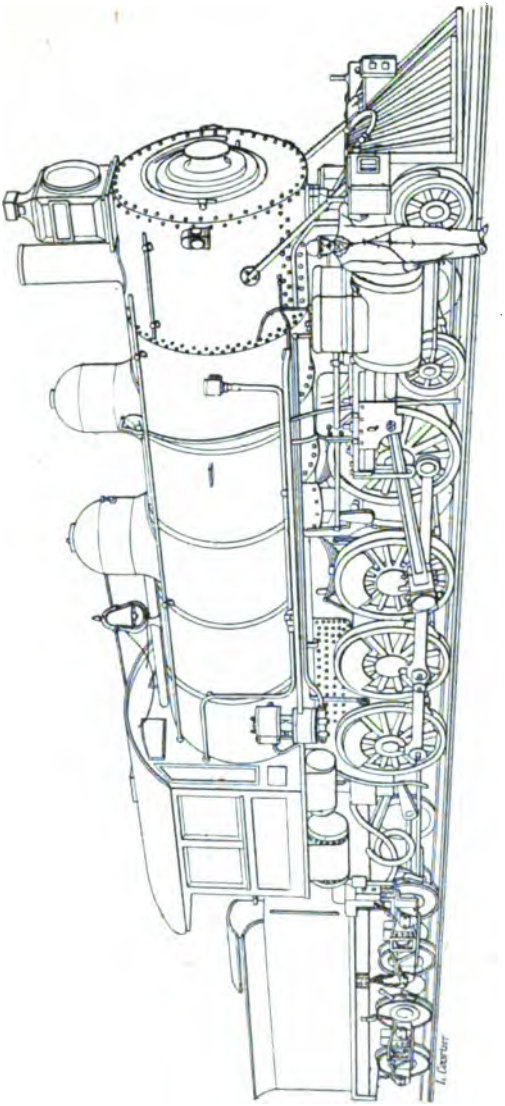


FIG. 113. — Machine à marchandises américaine.

97. Locomotives à dix roues accouplées. — Ces locomotives ne s'emploient qu'exceptionnellement pour les fortes

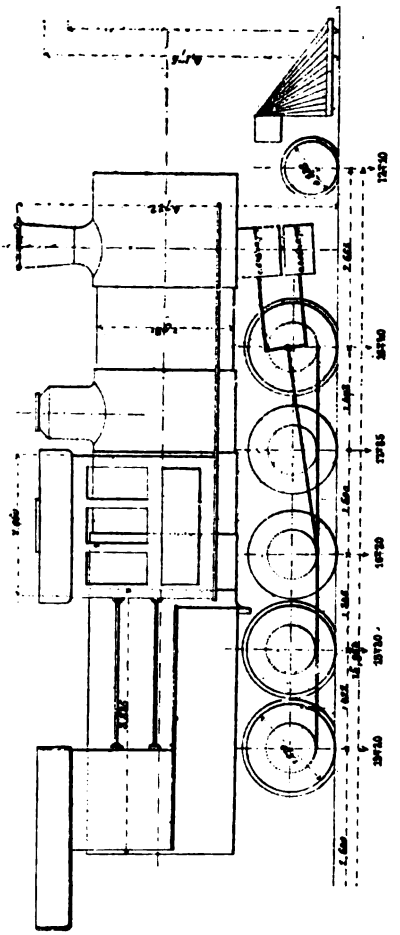


Fig. 114. — *Erie Railroad.*

rampes. La Compagnie d'*Orléans* en possède quelques-unes, en service sur les lignes du Cantal, construites en 1866 et

longtemps considérées comme les plus puissantes qui existaient. Ces machines-tenders pèsent un peu plus de 59 tonnes en charge et possèdent des cylindres de $0^m,500 \times 0^m,600$. Ces chiffres ont depuis lors été dépassés en différents pays, soit par exemple pour les machines articulées système Mallet, de la ligne du *Saint-Gothard*, dont nous parlerons plus loin. Les Américains ont, depuis quelques années, construit et mis en service sur leurs réseaux des machines, pourtant à tender séparé, qui pèsent jusqu'à 90 tonnes. Nous citerons comme exemple les locomotives de rampes du chemin de fer de l'*Erié* (*fig.* 114) qui reposent sur douze roues, dont dix accouplées, d'un diamètre de $1^m,270$; les cylindres, au nombre de quatre — ces locomotives sont du système compound — ont respectivement comme diamètre $0^m,410$ et $0^m,700$, avec une course commune de $0^m,740$. La surface de grille s'élève à $5^{m2},84$, et la surface de chauffe à 228 mètres carrés environ. Avec son tender, cette locomotive pèse près de 130 tonnes.

98. Locomotives à douze roues accouplées ou motrices. — M. Petiet avait créé, vers 1862, un type de machine à douze

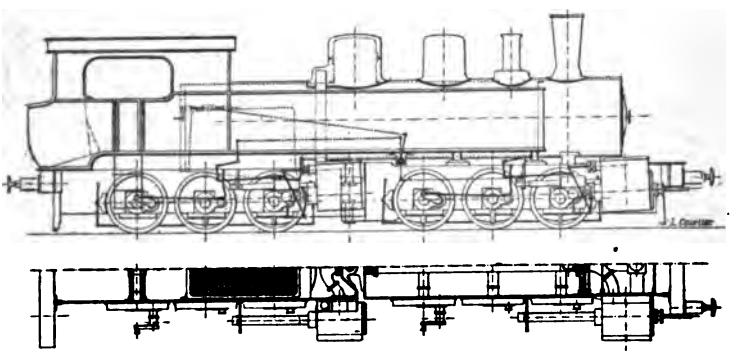


FIG. 115. — Machine articulée du *Saint-Gothard* (Système Mallet).

roues, à adhérence totale, à quatre cylindres, disparu depuis plusieurs années. Les seules locomotives, actuellement en

service en Europe, qui possèdent six essieux moteurs ou accouplés sont, à notre connaissance, les machines Mallet, de la Compagnie du *Saint-Gothard*, représentées dans la figure 115, et qui pèsent 85 tonnes en charge. La surface de grille est de $2^{m2},30$; la surface de chauffe, de 154 mètres carrés; le diamètre des roues, de $1^{m},23$. Les petits cylindres ont un diamètre de $0^{m},400$; et les cylindres de détente, un diamètre de $0^{m},580$; la course commune est de $0^{m},640$.

99. Machines-tenders. — Bien qu'un certain nombre des locomotives mentionnées plus haut soient du type tender, nous avons réservé pour celles-ci un paragraphe spécial.

Les machines-tenders, qui portent elles-mêmes leur approvisionnement d'eau et de combustible, sont surtout employées pour les services de banlieue et de gares ou sur les lignes à fortes rampes, ainsi que nous l'avons vu.

Nous donnons trois exemples de machines-tenders de banlieue destinées au service des trains de voyageurs.

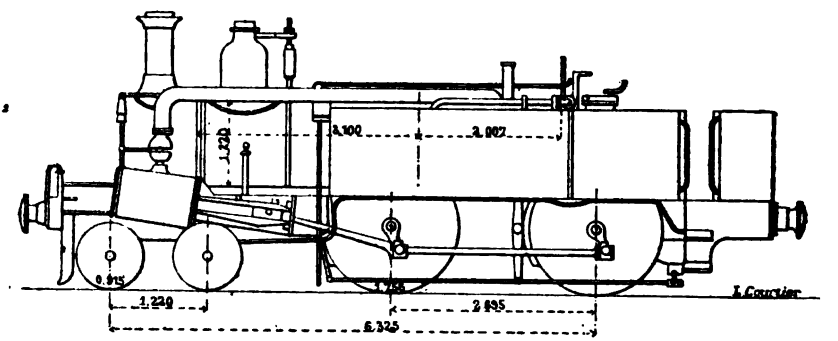


Fig. 116. — *Métropolitain* de Londres.

La première (*fig.* 116) est employée sur le *Métropolitain* de Londres depuis nombre d'années. C'est une locomotive à quatre roues accouplées de $1^{m},755$, avec cylindres extérieurs et inclinés, mais distribution intérieure. L'avant est supporté par un bogie. Les caisses à eau ne s'avancent pas au-delà

des roues motrices; les soutes à combustibles sont placées à l'arrière de la plate-forme.

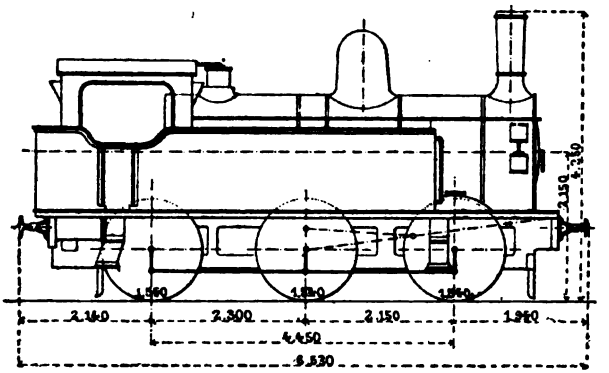


Fig. 117. — *Ouest.*

La figure 117 représente la machine de banlieue employée depuis quelques années par la Compagnie de l'*Ouest* pour ses

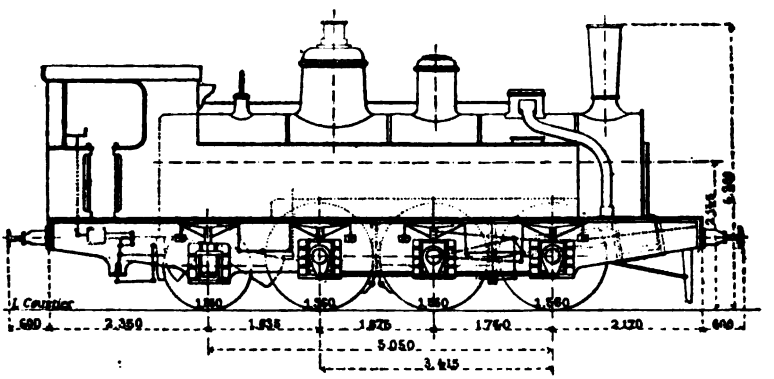


Fig. 118. — *Est.*

services si importants de banlieue. Les machines de ce modèle sont à six roues accouplées de $1^m,54$ de diamètre, à

cylindres, mécanisme et longerons intérieurs. Caisses à eau latérales avec soutes à charbon à l'arrière. Surface de chauffe, $96^{m2},20$; surface de grille, $1^{m2},28$; diamètre des cylindres, $0^{m},430$; course des pistons, $0^{m},600$; poids total en charge, $43^{T},5$.

Dans le type de la Compagnie de l'*Est* (*fig.* 118), on a ajouté à l'arrière un essieu porteur qui passe sous le foyer; les longerons sont extérieurs.

Les machines de gare appartiennent à cette catégorie; ce sont presque toujours des locomotives à six roues accouplées d'un diamètre de $1^{m},10$ environ, ordinairement, en France du moins, à cylindres et mécanisme extérieurs. Ces locomotives doivent être ramassées, afin de circuler dans les courbes les plus raides des gares de voyageurs et de marchandises ou tourner sur les mêmes plaques que les voitures.

100. Locomotives pour voies étroites. — On a construit depuis quelques années un assez grand nombre de chemins de fer économiques à voie étroite, c'est-à-dire de largeur inférieure à $1^{m},510$, écartement d'axe en axe des rails des voies ferrées ordinaires. La largeur de ces voies étroites est le plus souvent de 1 mètre, mais elle s'abaisse parfois jusqu'à $0^{m},60$, comme dans les chemins de fer Decauville.

Les locomotives employées au service des trains sur ces lignes ne diffèrent pas, en principe, de celles qui circulent sur les grandes lignes; elles ne s'en écartent guère que par les proportions et les dimensions absolues. Ces machines sont presque toujours du type tender, les parcours qu'elles ont à effectuer étant ordinairement peu importants, et à cylindres extérieurs, à cause du faible écartement intérieur des longerons; elles comportent fréquemment un bissel à l'avant ou à l'arrière, qui facilite le passage en courbes. On emploie beaucoup aujourd'hui les machines articulées du système Mallet, possédant la souplesse nécessaire pour le passage dans les courbes raides, bien qu'elles soient à adhérence totale, ce qui les rend particulièrement aptes au service sur les lignes à fortes rampes, lesquelles sont aussi, en même temps, des lignes à courbes de petit rayon.

101. Locomotives à crémaillère. — Lorsque l'inclinaison d'une rampe dépasse une certaine valeur, 8 à 10 centimètres par mètre par exemple, la locomotive, si elle est à adhérence totale, peut bien la gravir encore, mais ne remorque plus qu'une charge insignifiante. Pour une inclinaison un peu supérieure, la machine ne pourrait plus se remorquer elle-même, non par une insuffisance de puissance, le travail développé étant le produit de l'effort de traction par la vitesse, et ce produit, en palier, pouvant être plus considérable qu'en rampe, si la vitesse croît dans la proportion voulue. Ce qui manque à la machine pour gravir les fortes rampes, ce n'est ni la surface de chauffe, ni la puissance motrice, c'est uniquement l'adhérence. On y remédie en donnant à la locomotive un point d'appui, indépendant de la valeur de l'adhérence, au moyen d'une crémaillère placée longitudinalement, dans l'axe de la voie, et sur laquelle engrène une roue dentée mue par les cylindres à vapeur. La locomotive peut ainsi gravir des rampes de 40 0/0, avec une grande lenteur, il est vrai. Le plus souvent, les locomotives des lignes à crémaillère sont disposées pour fonctionner par adhérence et par engrènement, suivant les sections, certaines ne présentant que des pentes d'accès d'inclinaison peu considérables. Les roues sont accouplées et mues, comme à l'ordinaire, par une paire de cylindres. Les roues dentées, engrenant sur la crémaillère, sont actionnées par deux autres cylindres, généralement intérieurs et indépendants des premiers, que l'on met en marche sur les parties munies de la crémaillère; dans les sections en palier ou ne comportant que de faibles rampes, on supprime l'accès de la vapeur à ces cylindres, et la machine fonctionne comme une locomotive ordinaire.

Les chemins de fer à crémaillère sont très répandus en Suisse ; celui du Righi a été le premier construit.

Les deux principaux systèmes de crémaillère employés sont ceux de Abt et de Riggenbach; la denture de la première est découpée dans des barres pleines en acier ; celle du second est formée de barres rondes encastrées dans deux flasques parallèles. Les crémaillères sont solidement boulonnées à des longrines fixées aux traverses.

En raison de l'inclinaison des pentes sur lesquelles elles se

meuvent, il est de toute importance que les locomotives à crémaillère soient munies de freins puissants et sûrs, à main, à air ou à vapeur, agissant sur des tambours solidaires des roues dentées. Le plus souvent, on y ajoute un frein automatique à force centrifuge agissant dès que la vitesse dépasse une certaine valeur fixée à l'avance.

CHAPITRE VII

DESCRIPTION DE QUELQUES LOCOMOTIVES DE CONSTRUCTION RÉCENTE

102. Exposé préliminaire. — Il nous a paru utile de compléter les renseignements un peu généraux donnés ci-dessus, relativement à la construction et à l'arrangement des organes de la locomotive par la description assez détaillée de quelques types, répandus, mais aussi nouveaux que possible, qui permettront de fixer les idées du lecteur sur la pratique la plus récente. Nous avons choisi à cet effet, parmi les locomotives françaises :

1° La nouvelle locomotive express compound à quatre cylindres de la Compagnie du *Nord ;*

2° La nouvelle locomotive express à bogie de la Compagnie de l'*Ouest ;*

3° La nouvelle locomotive à voyageurs, à six roues accouplées, de la Compagnie de *Paris-Orléans ;*

4° Le dernier type de locomotive-tender de banlieue de la Compagnie de l'*Est*.

Nous donnerons, en outre, à titre de renseignements sur la pratique étrangère, la description :

1° De la locomotive express à roues libres du *Great-Western Railway* (Angleterre) ;

2° De la locomotive express à quatre roues accouplées du *New-York Central and Hudson Railroad* (*États-Unis*).

103. Locomotive express compound à quatre cylindres de la Compagnie du Nord[1]. — La Compagnie du *Nord* a mis en service, depuis 1891, des locomotives express d'un type

[1] Voir la note de M. l'ingénieur en chef du Bousquet : *Revue Générale des Chemins de fer*, numéro de juin 1892.

nouveau, à deux essieux accouplés et à bogie, à quatre cylindres, dont deux à haute pression et deux à basse pression (*fig.* 119 et 120, Pl. III). Ces machines, construites dans les ateliers de la Société alsacienne, remplacent peu à peu les anciennes machines *Outrance*, à la fois moins puissantes et moins économiques.

Dispositions générales. — Les cylindres à haute pression sont placés à l'extérieur des longerons; les cylindres à basse pression, à l'intérieur, sous la boîte à fumée. La vapeur se rend du premier groupe dans le second, en passant dans un réservoir intermédiaire commun, situé directement sous la virole de boîte à fumée et fondu avec les grands cylindres, qui sont d'une seule pièce.

Les cylindres intérieurs de basse pression actionnent l'essieu qui vient à la suite de l'avant-train, et les cylindres extérieurs de haute pression agissent sur celui d'arrière. Les efforts maxima sur les manivelles motrices sont ainsi beaucoup diminués. Ils ne sont plus que de $12^{kg},710$ pour les cylindres à haute pression et $13^{kg},235$ pour ceux à basse pression. On revient ainsi aux efforts qui se produisaient sur les machines *Outrance* primitives plus faibles cependant. Les roues de l'essieu moteur d'avant ont été munies de la sablière à vapeur, système Gresham.

Dispositions spéciales prises pour le démarrage. — Pour les trains dont la vitesse de marche est considérable, il est d'une extrême importance d'éviter les pertes de temps au démarrage. Dans ce but, les manivelles motrices des cylindres à haute et à basse pression d'un même côté, au lieu d'être calées rigoureusement à 180°, position la plus avantageuse au point de vue de l'équilibre des pièces en mouvement, font entre elles un angle de 162°, tel que l'admission de la vapeur dans l'un ou l'autre cylindre soit toujours assurée.

La simple admission de la vapeur de la chaudière au réservoir intermédiaire ne suffirait cependant pas pour produire le démarrage en avant dans toutes les positions, cette vapeur créant une contre-pression importante derrière les petits pistons. Pour l'éviter, on s'est donné la possibilité d'envoyer directement dans la tuyère d'échappement la vapeur sortant des petits cylindres.

MPOUL

Pl.III. Page 216bis

UNIV. OF MICH.

nouveau,
cylindres
sion (*fig* -
ateliers d
ancienne
et moins
Disposit
sont plac
pression,
rend du
réservoir
virole de
qui sont
Les cyl
sieu qui v
rieurs de
efforts ma
diminués
à haute p
revient ai
Outrance
l'essieu m
système G
Disposit
trains don
extrême i
rage. Dan
haute et
calées rig
au point d
entre elles
dans l'un
La si mpl
voir intern
le démarra
créant un
pistons — Po
directement
des petits

Cet échappement direct est obtenu, à la volonté du mécanicien, par la manœuvre de deux appareils faisant fonction de robinet à trois voies ; ils sont montés sur les tubulures des cylindres de basse pression aboutissant au réservoir intermédiaire, et se trouvent, en outre, fixés aux longerons.

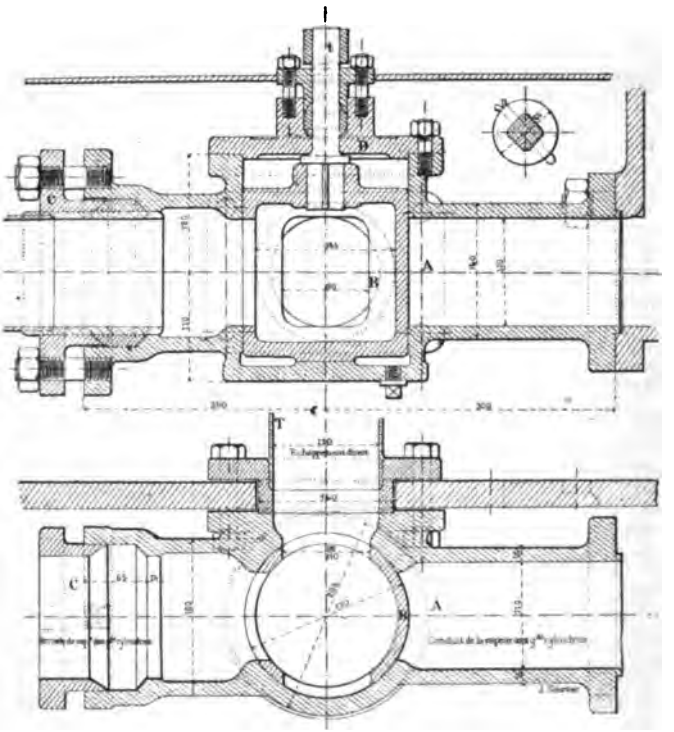


Fig. 121 et 122. — Robinet spécial à trois voies.

Chaque tuyau d'échappement des petits cylindres débouche dans une boîte en fonte A (*fig.* 121) par une garniture métallique qui fait joint, tout en permettant au tuyau de se dilater librement. Le tuyau peut être mis en communication soit avec la tubulure dont il vient d'être parlé, soit avec le

tuyau T d'échappement dans l'atmosphère, à l'aide d'une lanterne cylindrique B, également en fonte, qui se meut dans la partie alésée de la boîte et à laquelle on donne la position convenable par une rotation d'un quart de tour. A cet effet, la lanterne est munie d'une tige en fer *i* qui traverse une garniture métallique J. La commande de ses tiges par tringles et levier eût été compliquée ; on a adopté une autre solution consistant à introduire la vapeur du générateur dans un cylindre de très petit diamètre, placé sous la chaudière, de manière à déplacer, dans un sens ou dans l'autre, le piston qu'il renferme. Ce servo-moteur agit par un mécanisme très simple sur les clefs des deux robinets. Grâce à cet appareil, l'effort de traction au démarrage peut être porté à 10.000 kilogrammes, la pression au réservoir intermédiaire étant, cependant, maintenue à 6 kilogrammes.

Ce dispositif permet, en outre, quatre fonctionnements différents de la machine :

1° Fonctionnement habituel en compound ;

2° Fonctionnement extraordinaire en machines indépendantes, l'une à 14 kilogrammes, l'autre à 6 kilogrammes, pour les démarrages ;

3° Fonctionnement avec les petits cylindres seuls, en cas d'avaries aux grands cylindres ;

4° Fonctionnement avec les grands cylindres seuls, en cas d'avaries aux petits.

Chaudière. — La chaudière, timbrée à 14 kilogrammes, a été étudiée en vue d'une grande production de vapeur ; le foyer de l'une des machines renferme soit un bouilleur Ten Brinck, soit une voûte en briques, la surface de chauffe directe est de $13^{m2},80$ (11 mètres carrés, *non compris le Ten Brinck*). Le corps cylindrique est de forme télescopique et, de même que sur la locomotive 2.101, la virole d'arrière, la seule dont le diamètre soit limité par les coudes de l'essieu, est la plus petite. Le dôme est placé sur cette virole, et la prise de vapeur s'y fait à l'aide de deux tiroirs superposés, disposition favorable à la mise en marche et au laminage facultatif de la vapeur prise dans la chaudière. Les deux soupapes de sûreté sont à charge directe et placées à l'arrière de la boîte à feu. L'échappement est variable

par le système de valves généralement employé. Cette chaudière est en tôle de fer, et les viroles du corps cylindrique ont 18 millimètres d'épaisseur.

Mécanisme. — Le mécanisme de propulsion ne présente aucune particularité. Les deux mécanismes de distribution sont du système Welschaërt et peuvent être liés ou indépendants, à la volonté du mécanicien. Ce résultat est obtenu de la manière suivante : il y a deux changements de marche à vis placés côte à côte et commandés par un même volant sur la vis du changement de marche des cylindres intérieurs à la basse pression. Le volant V fait corps avec un pignon R, et les deux pièces peuvent être calées ou rendues folles sur la partie lisse de la vis par la simple manœuvre d'un cliquet B semblable à celui que portent les volants des locomotives ordinaires pour fixer leur position à un cran quelconque. Enfin, un second pignon R', semblable au premier et engrenant avec lui, est calé à l'extrémité de la vis de changement de marche des cylindres extérieurs de haute pression.

Lorsque le volant V est calé sur son axe par le cliquet B, on obtient, en le manœuvrant, et en partant des points morts coïncidants, des admissions toujours égales entre elles dans les deux groupes de cylindres; c'est ce qui a lieu notamment pour le démarrage à fond de course. En marche, les variations d'admission dans les cylindres de haute pression peuvent être obtenues sans changement d'admission dans les grands cylindres par le déclenchement du verrou.

Châssis. — Le bâti de la machine est constitué par des longerons simples en fer, de 28 millimètres d'épaisseur, solidement entretoisés entre l'essieu moteur d'avant et le second essieu du bogie, par une sorte de cage en acier coulé de $0^{m},680$ de longueur. Cette pièce sert de support aux glissières de tête de piston, à sa partie antérieure, et, à sa partie supérieure, aux coulisses de distribution du mouvement intérieur. A la hauteur des boîtes, les longerons sont renforcés par des cornières en acier épousant la forme de l'évidement. L'avant-train articulé, sans déplacement latéral, est disposé comme ceux des autres locomotives à grande vitesse de la Compagnie du *Nord ;* ses longerons sont extérieurs aux roues. L'essieu moteur, coudé, est du type Worsdell, à mani-

velles circulaires ; cette disposition permet d'augmenter la section des branches de manivelles, tout en réduisant leur épaisseur, et simplifie le travail du finissage de l'essieu.

La machine est munie du frein à vide actionné par deux éjecteurs qui se trouvent logés dans la boîte à fumée et du frein Westinghouse à action rapide. Les quatre roues accouplées sont freinées par des sabots commandés par deux sacs de frein, système Hardy, placés à l'avant du tender.

Enfin, la plate-forme du mécanicien porte un abri dont la toiture est munie d'une lampe pour l'éclairage général et intense des appareils d'arrière.

Tender. — Le tender est porté par trois essieux ; sa contenance est de 14 tonnes en eau et de 4 tonnes en combustible. Il est muni d'un frein à six sabots actionné par deux sacs de frein à vide. L'attelage entre locomotive et tender est constitué par une barre rigide et deux tampons de connexion dont les tiges portent sur des ressorts coniques.

Le tableau ci-après indique les conditions principales d'établissement de la locomotive et du tender :

1° MACHINE

Grille	longueur horizontale	2m ,013
	largeur	1 ,012
	surface	2mq,04
Hauteur intérieure du foyer	à l'avant	1m ,725
	à l'arrière	1 ,475
Corps cylindrique	diamètre intérieur moyen	1m ,260
	épaisseur des tôles	0 ,018
	hauteur de l'axe au-dessus des rails	2 ,242
Tubes	nombre	202
	diamètre extérieur	0m ,045
	longueur entre les plaques tubulaires	3 ,900
Surface de chauffe	du foyer	10mq,87
	du Ten Brinck	2 ,70
	des tubes à l'intérieur	98 ,98
	totale	112 ,55
Timbre de la chaudière	.....	14 kil.
Diamètre des roues au contact	bogie	1m ,040
	motrices accouplées	2 ,114

Écartement des essieux extrêmes		7m,330
Distance de l'axe du bogie à l'essieu d'arrière		6m,430

		Haute pression	Basse pression
Cylindres	écartement d'axe en axe	2m,070	0m,570
	diamètre	0 ,340	0 ,530
	course des pistons	0 ,640	0 ,640

Rapport des volumes des cylindres	2 ,42
Effort de traction maximum théorique (fonctionnement compound)	7.847 kil.
Effort de traction maximum théorique (avec échappement des petits cylindres dans l'atmosphère et admission directe de la vapeur de la chaudière dans les grands cylindres à la pression maximum de 6 kil.	10.000 kil.
Effort de traction pratique en compound (coeffic. 0,65)	5.070 kil.

Poids de la machine	vide	43T,80
	en charge	47 ,80
Répartition du poids par essieu (machine en charge)	1er	17 ,30
	2e	
	3e	15 ,35
	4e	15 ,15
Poids utile pour l'adhérence		30 ,50

2e TENDER

Diamètre des roues au contact		1m,2475
Empattement		3 ,300
Approvisionnement	eau	14T,16
	combustible	4 ,00
Poids du tender	vide sans agrès	15 ,00
	plein avec agrès	33 ,60

Il résulte des différentes expériences qui ont été faites que ces machines démarrent avec une extrême rapidité et remorquent facilement en rampe de 5 millimètres continue sur 20 kilomètres de longueur :

1° Un train de 140 tonnes (*machine et tender non compris*), à la vitesse de 85 kilomètres à l'heure ;

2° Un train de 200 tonnes (*machine et tender non compris*), à la vitesse de 75 kilomètres à l'heure.

Le premier franchit la distance de Paris à Amiens (131 kilomètres) en une heure et demie.

Le second met deux heures pour aller de Paris à Saint-Quentin (153 kilomètres).

Dans les deux cas, la vitesse varie très peu avec le profil de la ligne.

104. Locomotive express à bogie de la Compagnie de l'Ouest. — Ces machines sont à quatre roues accouplées et à bogie avec cylindres, mécanisme et longerons intérieurs. (Voir la figure mise en frontispice.)

Chaudière. — La chaudière est à foyer Crampton. Le ciel du foyer est consolidé à l'aide d'armatures transversales dont les extrémités reposent sur des consoles rivées à la boîte à feu extérieure.

Le foyer est en cuivre ; il est réuni à la boîte à feu par un cadre en fer forgé.

Le corps cylindrique est composé de trois viroles assemblées à recouvrement et à deux rangs de rivets ; la virole de plus grand diamètre est placée à l'avant.

La chaudière est timbrée à 12 kilogrammes.

La boîte à fumée est formée par le prolongement du corps cylindrique ; elle est allongée vers l'avant, au-delà des cylindres, afin de permettre l'installation d'une trémie destinée à vider les escarbilles. La porte est de forme ronde, avec fermeture au centre.

Les tubes sont en acier et raboutés en cuivre rouge ; leur diamètre extérieur est de 43 millimètres. Un certain nombre de ces machines ont reçu des tubes à ailettes, ayant 70 millimètres de diamètre extérieur.

La chaudière repose, d'une part, sur les cylindres où elle est attachée et, d'autre part, sur les longerons à l'arrière, sans aucun support intermédiaire.

Châssis. — Les longerons sont en acier de 25 millimètres d'épaisseur. L'entretoise des glissières et celle de support sur le bogie sont en acier coulé ; les autres entretoises, tabliers d'attelage et traverses, sont en tôle et cornières d'acier.

Les glissières des boîtes à huile sont en acier coulé ; chaque paire de glissières est reliée par sa partie supérieure au longeron à l'aide d'une partie nervée qui consolide l'ouverture pratiquée pour le passage de chacune des boîtes. Des cales en fer cémenté et trempé permettent de rattraper les

jeux. Une fois les essieux en place, on ferme le bas des glissières à l'aide de deux boulons.

Le châssis du bogie est constitué par deux tôles de 25 millimètres, en acier, entretoisées en leur milieu au moyen de fers profilés en U et de tôles horizontales. Cette entretoise sert de support à la pièce recevant le pivot, laquelle affecte la forme d'un plateau dont la partie inférieure coulisse transversalement entre deux glissières en acier boulonnées sur les fers profilés en U. Cette disposition permet un déplacement transversal limité à $0^m,025$ de chaque côté et contrôlé par deux ressorts dont la tension initiale est de 1.400 kilogrammes. Ces ressorts butent, du côté intérieur, sur un point fixe de la machine, quand le bogie est dans sa position normale au milieu, de sorte que la rupture de l'un d'eux ne peut occasionner de poussée oblique.

L'axe du pivot se trouve reporté de $0^m,05$ en arrière du centre de figure des roues; cette disposition facilite l'inscription de la machine en courbes et permet aux deux boudins de venir s'appliquer en même temps sur le rail. Des butées limitent le pivotement du bogie.

La suspension est constituée, de chaque côté, par un ressort longitudinal commun, renversé et rattaché par des bielles à des flasques doubles dont les extrémités reposent sur les boîtes des roues du bogie.

L'essieu moteur, coudé, est en acier avec manivelles frettées et boulon de consolidation dans l'axe du tourillon.

L'essieu accouplé, placé derrière le foyer, est en acier et présente des fusées de mêmes dimensions que celles de l'essieu moteur.

Les contrepoids, forgés avec les corps de roues, sont établis de manière à équilibrer la totalité des pièces à mouvement circulaire et une fraction variant entre le tiers et le quart des pièces à mouvement alternatif.

Les boîtes à huile sont en acier moulé; les dessous sont en fer forgé et reçoivent les étriers de suspension des ressorts.

Les ressorts des essieux moteurs sont conjugués deux à deux, de chaque côté, par un balancier longitudinal dont les bras sont inégaux et calculés de manière que le poids sur le rail soit sensiblement le même pour chaque essieu, à l'état

statique. Cette machine, grâce à la présence de ces balanciers et de ceux du bogie, est suspendue sur trois points.

Mécanisme. — Les cylindres, placés entre les longerons, sont coulés séparément et forment support de chaudière. Les boîtes à tiroirs sont placées vers le haut, mais légèrement inclinées sur le côté, de telle sorte que le plateau de fermeture soit placé au dehors, au-dessus du longeron et que la boîte soit très accessible. Les tuyaux de prise de vapeur et d'échappement sont placés dans la boîte à fumée.

Les pistons, du type suédois, sont en acier embouti, avec segments en fonte. La tige de piston, d'un diamètre de $0^m,070$, est en acier forgé et vissée dans le corps du piston.

Les crosses sont en acier forgé et portent des patins en fonte régulée munis de godets de graissage avec graisseurs sans mèche. Les glissières sont en acier forgé et débordent légèrement, sur l'arrière, le support des glissières.

Les bielles motrices sont en acier forgé avec corps évidé. La petite tête porte une bague en bronze régulé. La grosse tête est à étrier mobile fixé au corps de bielle par deux parties filetées et des écrous. Les coussinets sont garnis de macarons en métal blanc.

Les bielles d'accouplement sont également en acier forgé et évidées en section à I; leurs têtes sont rondes avec bagues en bronze régulé. Leur longueur d'axe en axe est de $2^m,90$, avec une hauteur, au milieu, de $0^m,130$, une largeur totale de $0^m,070$ et une épaisseur de toile de $0^m,022$.

Tous les graisseurs du mouvement sont du type sans mèche.

La distribution est effectuée par un dispositif sans excentrique, qui rend le mécanisme intérieur très accessible, l'espace compris entre les deux bielles motrices ou les deux glissières se trouvant entièrement libre. Les coulisses, du type Welschaërt, sont actionnées par la bielle motrice, à l'aide d'un parallélogramme articulé vers son milieu; le tout est disposé de manière à permettre un réglage complet pour tenir compte de l'usure. Un index, qui se trouve disposé près de la coulisse, donne les limites d'oscillation des bords extrêmes et indique le moment où le réglage est devenu nécessaire.

L'arbre de relevage est placé en dessous; il est actionné directement par une vis placée contre le couvre-roues de droite; la tringle de relevage est alors remplacée par un arbre beaucoup plus léger et une paire d'engrenages coniques. Le volant de manœuvre est placé à l'arrière, comme d'habitude; son arbre porte, près de l'emmanchement, une partie filetée recevant un écrou mobile à index, se déplaçant sur une règle graduée placée sous les yeux du mécanicien et qui lui donne l'indication du cran de marche. Quelques-unes de ces machines ont reçu un changement de marche à vapeur asservi.

Divers. — L'alimentation est assurée à l'aide de deux injecteurs Sellers placés sur les couvre-roues arrière, dans l'abri. Ils offrent respectivement des diamètres de $6^{mm},5$ et de $9^{mm},5$; le plus petit des deux permet d'opérer une alimentation à peu près continue.

Les sablières sont constituées par un prolongement des couvre-roues du milieu; l'écoulement du sable est commandé par le dispositif à injection de vapeur.

La plate-forme du mécanicien est recouverte d'un plancher en bois. L'abri est fermé sur trois côtés et porte des lunettes à glaces mobiles sur la face avant.

Le tuyau d'échappement est annulaire; il est surmonté d'une couronne en bronze, percée de trous, qui forme le souffleur.

Le graissage des cylindres et des tiroirs est assuré par deux catégories de graisseurs: graisseurs Meyer aboutissant dans les boîtes à tiroir et graisseurs à condensation, à boule, du type *Ouest*, aboutissant dans les cylindres.

La robinetterie est du type à vis; toutefois, quelques robinets, ceux du niveau d'eau et du souffleur, sont du type à boisseau avec garniture en amiante.

Cette machine, comme toutes les locomotives à voyageurs de la Compagnie de l'*Ouest*, est munie du frein automatique, à air comprimé, agissant sur les roues motrices et accouplées.

105. Locomotive à voyageurs pour lignes à fortes rampes de la Compagnie de Paris à Orléans. — Cette locomotive,

dont on trouvera le schéma dans la figure 104, a été étudiée pour faire le service des trains de voyageurs sur les lignes à profil très accidenté, présentant, par exemple, des rampes de 20 à 25 millimètres par mètre, et des courbes de 250 mètres de rayon.

Les locomotives de ce type remorquent sur ces lignes, à la vitesse nominale de 50 kilomètres à l'heure, des trains dont la charge atteint 125 tonnes, et la vitesse réelle dans les rampes de 25 millimètres est de 35 kilomètres à l'heure.

Cette locomotive comporte quatre essieux, dont un porteur à l'avant et trois accouplés, placés l'un vers l'arrière du foyer et les deux autres à l'avant, l'essieu moteur étant au milieu.

Les cylindres et le mécanisme sont placés à l'extérieur. Les cylindres sont situés à l'arrière des roues d'avant.

Le mécanisme de distribution de la vapeur est du type Stephenson modifié.

La chaudière, dont le foyer est du système Ten Brinck, est munie de deux dômes réunis par un tuyau de 140 millimètres de diamètre placé à l'extérieur, dans le but d'augmenter le volume de vapeur disponible et de fournir au régulateur de la vapeur plus sèche.

L'attelage entre machine et tender est d'un système spécial convergent, qui a pour effet de diminuer la pression exercée sur le rail extérieur par le boudin de la roue d'avant lors du passage en courbe.

Les boîtes d'avant sont d'une disposition particulière qui facilite la convergence de l'essieu vers le centre des courbes, afin de diminuer l'usure des boudins des roues.

Les boudins des roues d'avant sont graissés au moyen d'un appareil spécial dans leur partie qui vient en contact avec le rail.

Chaudière. — Le timbre est de 11 kilogrammes.

Le corps cylindrique est formé de trois viroles, dont les deux d'avant sont en acier et ont 13 millimètres d'épaisseur ; celle de l'arrière, enfin, ainsi que les tôles d'enveloppe du foyer, ont 16 millimètres et demi d'épaisseur.

Les rivures horizontales de la chaudière sont à double rangée de rivets de 25 millimètres de diamètre.

Le foyer est du système Ten Brinck, comme la plupart des foyers de locomotives de la Compagnie d'*Orléans*. Ces foyers sont de véritables gazogènes, car les gaz provenant de la distillation de la houille sont brûlés par une insufflation d'air dirigée dans leur masse.

Ce genre de foyer comporte, dans cette locomotive, l'emploi des organes principaux ou accessoires suivants :

Un gueulard en fonte avec porte de chargement du combustible ;

Une grille inclinée à 27°, formée avec des barreaux Raymondière à section en lames de couteau, écartés de 15 millimètres, à la partie supérieure ; à la partie inférieure, un jette-feu manœuvrable à l'aide d'une vis et muni de barreaux en fer à section en lame de couteau, écartés de 15 millimètres ;

Un bouilleur monté parallèlement à la grille, vers le milieu de la hauteur du foyer, et destiné à ramener vers l'arrière la fumée et les gaz provenant de la distillation du charbon ;

Un clapet à air, placé au-dessus du gueulard, pour régler la quantité d'air à laisser pénétrer dans le foyer pour mélanger les produits qui se dégagent du charbon et opérer leur combustion complète.

Le bouilleur est isolé des parois du foyer au moyen de terre et de briques réfractaires et fixé par quatre tubulures en cuivre rouge, qui servent au passage de l'eau et de la vapeur et permettent aux dilatations de s'opérer librement.

Des autoclaves et bouchons de lavage sont disposés spécialement pour faciliter le nettoyage de l'intérieur du bouilleur et de ses tubulures.

Pour obtenir une fumivorité complète avec ce système de foyer, il suffit de charger le feu à gueulard presque plein, après avoir poussé le combustible en ignition vers l'avant et de régler convenablement le registre d'air.

Deux ouvreaux sont placés au-dessus du clapet pour faciliter le nettoyage du dessus du bouilleur.

Les parois du foyer en cuivre rouge et leurs parties planes sont reliées à celles de l'enveloppe par des entretoises de 25 à 28 millimètres de diamètre en cuivre rouge, filetées et rivées.

Les entretoises sont percées, dans toute leur longueur, d'un trou de 6 millimètres, qu'on laisse s'obstruer du côté intérieur pendant la rivure de la tête, mais qu'on débouche avec soin vers l'extérieur, afin qu'il donne issue à la vapeur, pour signaler les ruptures d'entretoises.

Le ciel du foyer est armaturé par des fermes longitudinales en fer forgé, fixées par des vis et appuyées à chaque extrémité sur les parois verticales avant et arrière du foyer. Des tirants sont rivés à la chaudière pour supporter les fermes centrales. Les boulons qui relient les fermes aux tirants ont, dans leurs trous, un jeu suffisant pour ne pas opposer d'obstacle à la dilatation.

Les tubes, au nombre de 246, disposés en rangées verticales, sont en laiton et raboutés en cuivre rouge, sur 10 centimètres de longueur, et leur extrémité est fixée au foyer; ils sont maintenus sans viroles et par des rivures faites avec des outils spéciaux. Le diamètre intérieur des tubes est de 43 millimètres, et leur longueur, de $4^{m},440$.

Une plaque porte-tubes est rivée vers l'avant de la deuxième virole de la chaudière pour soutenir les tubes; elle est en cuivre rouge, et son épaisseur est de 30 millimètres; en haut, elle dépasse le niveau supérieur des tubes, pour opposer une résistance au mouvement de la masse d'eau, lors des variations brusques de vitesse.

Le dôme d'avant porte les deux soupapes à leviers et contient le régulateur de prise de vapeur, dont le tiroir principal est muni d'un deuxième tiroir plus petit pour faciliter la manœuvre. Ce dôme a 900 millimètres de diamètre, et celui d'arrière, 750 millimètres; leur raccordement avec la chaudière est fait par une embase en acier formée d'une seule pièce emboutie; une tôle de renfort placée à l'intérieur de la chaudière est rivée avec l'embase, pour compenser l'affaiblissement produit par le trou de communication de la chaudière et du dôme.

La chaudière, les dômes, leur tuyau de communication, les cylindres et les parties qui doivent être préservées du refroidissement, sont garnis d'une enveloppe en feuilles de laiton de 1 millimètre et demi d'épaisseur.

La cheminée est munie d'une charnière, entre l'embase et

le corps, afin que le mécanicien et le chauffeur puissent la rabattre facilement sur le côté, pour la visite et le nettoyage de l'échappement variable du souffleur et de la couronne d'échappement de la pompe du frein continu.

En outre des deux soupapes à levier du dôme d'avant, chargées au moyen de balances, la chaudière est munie, en avant du foyer, de deux soupapes à charge directe pour la réduction rapide d'un excès de pression.

Des soupapes de ce modèle ont été appliquées à toutes les locomotives qui ont été construites, depuis plusieurs années, pour la Compagnie d'*Orléans*.

Les robinets de prises de vapeur qui doivent être placés à l'arrière de la machine, à la portée des agents, sont montés sur une boîte centrale.

L'alimentation est assurée par deux injecteurs de 9 millimètres, du système Ernest Polonceau, placés dans la rampe de gauche.

Le modèle ayant 9 millimètres de plus petit diamètre au cône divergent débite 110 litres par minute, pour 10 kilogrammes de pression ; il fonctionne avec de l'eau réchauffée à 55° et s'amorce sans perte d'eau de 3 à 13 kilogrammes. Enfin, son débit, pour une même pression, peut varier à volonté dans la proportion de 1 à 2.

Cylindres. — Les cylindres ont 480 millimètres de diamètre et une course de piston de 680 millimètres. Les pistons sont en acier forgé et présentent une disposition particulière des segments, ayant pour but de les rendre étanches et consistant dans l'emploi de ressorts calibrés en acier, placés à l'intérieur des segments en fonte, assemblés à languettes à leurs extrémités.

Les tiroirs sont en bronze phosphoré. Les bandes sont garnies d'alvéoles en forme de queue d'aronde, remplies de métal antifriction pour éviter le grippage des tables d'orifice et diminuer leur usure.

Le graissage des cylindres peut se faire en marche avec un appareil spécial, composé d'un robinet d'injection d'huile placé à la portée du mécanicien, de tuyaux de conduite et de raccords fixés sur les cylindres et munis de clapets pour empêcher la vapeur de passer des cylindres dans les tuyaux.

Des graisseurs, système Schober, sont appliqués sur les cylindres pour le graissage automatique par aspiration, lorsque le régulateur est fermé pendant la marche.

Les garnitures des tiges de piston et de tiroirs sont métalliques et du système Pile.

Mécanisme. — La crosse de piston est en acier très doux, cémenté et trempé. Elle est munie de semelles en fonte garnies de plaques d'usure en bronze à joues latérales, dont l'attache est faite à charnières pour ne pas gêner leur dilatation.

Les glissières sont forgées en acier dur et sont très fortes, pour que leur flexion ne dépasse pas 1/2 millimètre et que les garnitures métalliques et le cylindre ne s'ovalisent pas en s'usant.

Le graissage des coussinets de bielle se fait en utilisant la projection d'huile par force centrifuge au moyen de godets graisseurs munis de goujons à trous capillaires.

La distribution diffère principalement de celle de Stephenson en ce que les barres des excentriques, au lieu d'être articulées directement à la coulisse, font osciller deux balanciers qui commandent deux bielles articulées à la coulisse.

Véhicule. — Le châssis est formé de deux longerons en acier de 30 millimètres d'épaisseur, placés à l'intérieur des roues, pour rendre la construction plus simple et plus légère.

Les supports de la chaudière portent sur les longerons, au moyen de semelles en bronze destinées à faciliter la dilatation.

Les glissières des boîtes d'essieux sont en acier moulé.

L'entretoisement des plaques de garde d'avant est fait simplement avec une douille en fonte et un gros boulon.

La locomotive est portée sur huit boîtes, au moyen de six ressorts.

La charge afférente aux roues motrices et aux roues accouplées d'avant agit au moyen de ressorts uniques et de balanciers qui la répartissent également sur les deux essieux.

Les ressorts d'avant sont reliés entre eux, à l'avant, par un balancier transversal, afin que les deux roues supportent toujours des charges égales.

Les boîtes d'essieu sont en fer forgé, cémenté et trempé.

Les dessous de boîtes sont en fonte et munis d'obturateurs en feutre et de tampons graisseurs en tôle, à mèche et brosse en coton, avec bande de feutre au milieu en contact avec la fusée, pour empêcher l'écrasement du coton.

Les boîtes d'avant, disposées pour faciliter la convergence de l'essieu vers le centre des courbes, ont, à cet effet, en outre des plans inclinés ordinaires pour le déplacement de l'essieu, suivant son axe de rotation, des plans inclinés qui permettent au coussinet de se déplacer suivant le sens longitudinal de la locomotive.

Les roues d'avant sont calées sur leurs essieux, sans clavettes ; leurs bandages sont maintenus au moyen de deux couronnes rivées ensemble et agrafant le bandage et la jante. L'épaisseur des bandages à l'état neuf est de 75 millimètres.

L'attelage d'arrière entre locomotive et tender est rendu élastique par l'emploi d'un ressort de traction à lames placé sur le tender et de tampons élastiques à ressort en spirale en contact avec les tampons secs de la machine; il est serré à une tension d'environ 3.000 kilogrammes au moyen d'un tendeur dont la vis est actionnée par une clé à rochet pouvant être manœuvrée par un long levier.

Les surfaces de contact de ces tampons sont inclinées tangentiellement à un cylindre dont le centre est au milieu de la locomotive.

Par le graissage des boudins des roues d'avant, on diminue notablement, paraît-il, l'usure des boudins et de la voie, et, par suite, on augmente la durée des bandages.

L'appareil de graissage des boudins est composé d'un récipient dont l'huile s'écoule par siphonnement et d'un tube qui conduit l'huile à un porte-brosse garni d'une brosse en coton tressé. Le tube est articulé et soumis à la pression d'un ressort, afin que la brosse reste toujours en contact avec le boudin, malgré le déplacement de la roue : la brosse est serrée dans un ressort à pincette pour la maintenir droite, en dehors du porte-brosse, très près de sa partie en contact avec le boudin.

Cette machine est munie du frein continu du système Wenger.

La conduite principale du frein existe jusqu'à l'avant de la machine pour accoupler deux locomotives, en cas de marche en double traction.

Une lampe à huile de colza, pareille à celle des voitures, est fixée sous l'abri pour l'éclairage de la plate-forme d'arrière et des manomètres du frein.

Les fanaux de l'avant sont à l'huile minérale.

Tender. — La caisse n'est établie que pour 6 mètres cubes d'eau, afin de réduire le poids mort au minimum, condition importante pour les lignes très accidentées, où la charge traînée est relativement faible par rapport au poids mort.

Le châssis est formé de deux longerons fortement entretoisés; il porte la caisse par l'intermédiaire d'un plancher en bois.

Les roues sont à agrafes, comme celles d'avant de la machine.

Le coffre aux agrès, placé à l'arrière de la caisse, porte, de chaque côté, un coffre à effets pour le machiniste et le chauffeur.

Le mécanisme du frein est disposé de façon à obtenir un serrage énergique, tout en employant des sabots en fonte et en réduisant autant que possible le nombre des articulations.

Les pièces du frein Wenger et celles du frein à main qui agissent sur l'arbre du frein sont disposées de telle sorte, qu'on peut se servir indifféremment de l'un ou de l'autre de ces freins ou les faire agir tous les deux en même temps, afin de produire une pression double sur les roues.

Le réglage du frein, nécessité par l'usure des sabots, se fait facilement par l'allongement d'une bielle composée à cet effet de deux vis à pas contraire et d'une douille-écrou.

La jonction des tuyaux de la conduite principale entre la locomotive et le tender est faite au moyen d'un tuyau d'accouplement métallique, dont la flexibilité est très grande, en raison de sa disposition en forme de cor de chasse.

106. Locomotive-tender de banlieue de la Compagnie de l'Est[1]. — Les locomotives-tenders de banlieue de la Compagnie

[1] Nous donnons de cette machine une description très détaillée, qui permettra au lecteur de se rendre un compte exact de tous les organes, appareils et accessoires composant une locomotive.

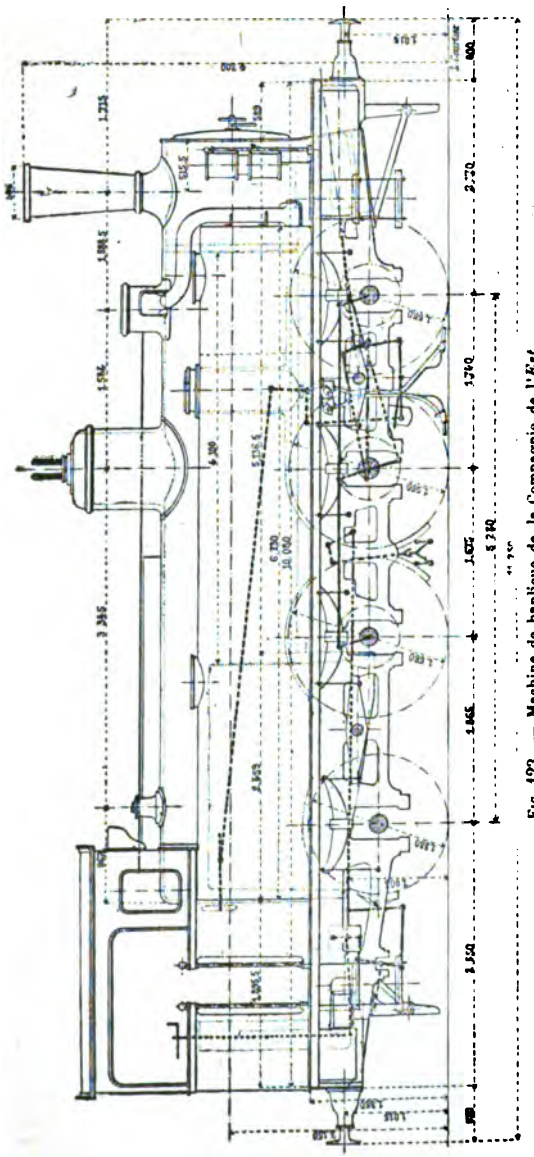


Fig. 123. — Machine de banlieue de la Compagnie de l'Est.

de l'Est sont à huit roues, dont six accouplées et deux porteuses; les roues accouplées sont placées sous le corps cylindrique de la chaudière, entre les cylindres et l'avant de la boîte à feu; les roues porteuses sont placées à l'arrière, sous le foyer (*fig.* 123).

Le châssis est à longerons extérieurs aux roues.

Les cylindres et le mouvement de distribution de vapeur sont placés intérieurement aux châssis et aux roues.

Les locomotives portent leurs approvisionnements dans deux soutes à eau placées sur les côtés de la chaudière, au-dessus du tablier, et dans deux soutes à combustible, dont une placée sur le côté gauche de la chaudière, et l'autre à l'arrière de la locomotive.

Elles sont munies du frein à air comprimé automatique, système Westinghouse, de sablières à vapeur système Gresham et Traven, d'appareils de prise de vapeur et de compression de l'air pour le chauffage des trains par la vapeur et l'air combinés.

La disposition et les dimensions de leurs différentes pièces, sont conformes aux indications ci-après :

1° Chaudière. — Les dimensions principales de la chaudière sont les suivantes :

Grille

Longueur suivant l'inclinaison	2m ,285
Largeur	0 ,991
Surface	2m2,26

Foyer

Hauteur du ciel à l'avant	1m ,628
Largeur intérieure en bas	0 ,991
Longueur intérieure en bas	2 ,260
Epaisseur du cuivre des parois	0 ,0145
Epaisseur de la plaque tubulaire	0 ,027

Tubes

Nombre	245
Diamètre extérieur	0m ,040
Longueur entre les plaques tubulaires	4 ,100

Surface de chauffe

Du foyer, au-dessus de la grille	10m²,60
Des tubes (calculée d'après le diamètre moyen)	118 ,72
Totale	129 ,32

Boîte à feu extérieure

Longueur extérieure en bas.....	2m ,459
Largeur extérieure.....	1 ,189
Epaisseur de la tôle d'enveloppe	0 ,020
— des faces d'avant et d'arrière	0 ,015

Corps cylindrique

Diamètre moyen	1m ,300
Epaisseur des tôles du corps cylindrique....	0 ,0145
Epaisseur de la plaque tubulaire de boîte à fumée.....	0 ,020

Boîte à fumée

Longueur intérieure.....	1m ,1095
Epaisseur de la virole de boîte à fumée.....	0 ,0143

Chaudière

Longueur totale de la chaudière.....	7m ,595
Du dessus du rail à l'axe du corps cylindrique.....	2 ,150
Volume d'eau à 0m,150 au-dessus du ciel....	4m³,183
Timbre en kilogrammes de pression effective par centimètre carré.	12 kilog.

Détails de construction de la chaudière. — Le foyer est en cuivre, à ciel plan, réuni à son enveloppe au moyen de tirants verticaux.

Les parois latérales et le ciel du foyer sont en trois pièces.

La boîte à feu extérieure est formée de trois tôles, dont une, plus épaisse que les deux autres, pour le filetage des tirants servant à soutenir le ciel du foyer.

La réunion du foyer et de son enveloppe extérieure se fait, à la partie inférieure, au moyen d'un cadre en fer forgé pré-

sentant, à ses angles, des appendices pour la rivure des angles inférieurs de l'enveloppe extérieure; à l'arrière, par le cadre en fer de la porte du foyer.

Les tôles formant les viroles du corps cylindrique sont d'une seule pièce.

La boîte à fumée est formée par le prolongement de la première virole; une doublure de même épaisseur placée intérieurement la garantit à sa partie inférieure.

Cette doublure est ajustée contre le bord de la plaque tubulaire, afin d'éviter l'infiltration de l'eau entre les deux tôles.

La plaque tubulaire de boîte à fumée est à rebords rabattus; elle est tournée extérieurement pour s'ajuster exactement à l'intérieur de la première virole, sur laquelle elle est rivée.

La face avant de la boîte à fumée est fixée sur la virole de boîte à fumée, au moyen de cornières.

Un dôme de prise de vapeur est fixé sur la seconde virole d'arrière du corps cylindrique. L'ouverture ménagée dans la chaudière a ses bords renfoncés par la collerette servant d'attache au cylindre du dôme et par une contreplaque rivée à l'intérieur.

Les clouures réunissant entre elles les tôles du foyer et le foyer au cadre sont à simple rangée de rivets. Les clouures des tôles de la boîte à feu extérieure entre elles et avec le cadre sont à simple rangée de rivets.

Toutes les clouures longitudinales ou transversales du corps cylindrique sont à double rangée de rivets.

La clouure de la plaque tubulaire de boîte à fumée et les deux clouures transversales du dôme sont à simple rangée de rivets.

Tous les rivets sont en fer de Suède.

La face plane d'arrière de la boîte à feu et la plaque tubulaire de boîte à fumée sont armées, à leur partie supérieure, par deux armatures en forme de L, composées de deux tôles d'acier rivées entre elles et repliées à chacune de leurs extrémités pour s'attacher sur la partie voisine du corps cylindrique.

Le ciel du foyer est réuni à son enveloppe par des tirants

verticaux en fer, au nombre de 133, vissés dans les tôles et maintenus extérieurement par des écrous.

Sept tirants réunissent au corps cylindrique la plaque tubulaire du foyer, dans la partie située au-dessous des tubes.

Les faces planes du foyer et de son enveloppe sont réunies entre elles par des entretoises en cuivre rouge, percées d'un trou suivant leur axe, et exposées conformément aux plans.

Le diamètre extérieur des entretoises est de.....	0m,024
Le diamètre extérieur au fond du filet...	0 ,021
Le pas du filet.....	0 ,002
Le diamètre du trou central.....	0 ,006

Les tubes sont en acier doux, sans raboutage. Ils sont disposés par rangées verticales. Ils sont mandrinés dans les plaques tubulaires au moyen de l'appareil Dudgeon et rivés ensuite à leurs deux extrémités.

Accessoires de la chaudière. — La chaudière est munie des divers accessoires en usage, tels que : plombs fusibles fixés au ciel du foyer; bouchons de lavage dans le cadre, sur les parois latérales, sur la face avant de la boîte à feu, à la partie supérieure de chaque côté de l'enveloppe du foyer, au-dessus de la porte du foyer, sur l'angle côté droit de la plaque arrière, à la partie inférieure de la plaque tubulaire, de la boîte à fumée et à la partie inférieure du corps cylindrique; bouchon de vidange à la partie inférieure des grandes viroles.

Elle porte un robinet de remplissage placé sur la face d'avant de la boîte à feu, trois robinets de jauge, un indicateur de niveau de l'eau avec robinets et tube en cristal; des robinets de prise de vapeur du manomètre, des injecteurs, une sablière à vapeur système Gresham et Craven, deux pompes de compression du frein à air comprimé système Westinghouse et le chauffage par la vapeur et l'air combinés, un robinet de prise de vapeur pour ce chauffage, un robinet souffleur, un robinet de prise de vapeur avec raccord conique pour le nettoyage des tubes ou pour tout autre usage et le robinet du frein à contre-vapeur.

Elle est munie d'un sifflet, de deux soupapes de sûreté à action directe, système Adams, placées sur le dôme de prise

de vapeur, et d'un manomètre Bourdon ; d'un second manomètre pour le frein à air comprimé étalonné jusqu'à 10 kilogrammes.

Le robinet de jauge inférieur est placé à 0m,110 au-dessus du ciel du foyer ; les robinets sont espacés entre eux verticalement de 0m,066.

Les portes du foyer et de la boîte à fumée sont garnies de contreplaques en tôle. La porte du foyer est munie d'un registre pour permettre l'introduction d'air au-dessus de la grille.

La grille est formée de barreaux en fonte à quatre lames:

D'une longueur de.....	0m,550
D'une épaisseur de lames de.....	0 ,009
Laissant entre elles un vide de.....	0 ,010

Le foyer est muni d'une voûte en briques réfractaires de 0m,880 de longueur supportée par deux sommiers reposant chacun sur les têtes de quatre vis fixées sur les parois latérales du foyer et d'un réflecteur fixé à la partie supérieure du cadre de la porte.

Le dessous du foyer est garni d'un cendrier entièrement fermé, avec portes à l'avant et à l'arrière, dont la manœuvre est à la main du chauffeur; l'essieu d'arrière et l'entretoise des longerons traversent le cendrier et sont garantis chacun par une enveloppe.

La boîte à fumée est garnie de la grille réglementaire destinée à empêcher l'entraînement des flammèches et formée de barreaux :

D'un diamètre de.....	0m,005
Espacés, d'axe en axe, de.....	0 ,015

et placés transversalement à l'axe de la chaudière.

La chaudière porte un régulateur de prise de vapeur à tiroir ; l'échappement de la vapeur se fait dans la cheminée, par une tuyère à valves, de section variable, dont la commande est à la main du chauffeur.

Deux injecteurs système Sellers de 8mm,5 et de 9 millimètres, placés le premier à gauche, le deuxième à droite,

servent à l'alimentation de la chaudière ; ils sont installés à l'arrière, au-dessus de la plate-forme du mécanicien et communiquent avec les caisses à eau au moyen de deux tuyaux en cuivre et de robinets d'arrêt.

Les injecteurs refoulent l'eau dans la chaudière, par l'intermédiaire de deux boîtes à clapet de retenue, avec robinets fixés sur la chaudière à un niveau suffisamment élevé au-dessus des soutes pour les besoins du montage.

Le corps cylindrique de la chaudière, ainsi que l'extérieur de la boîte à feu, sont garantis par une enveloppe en tôle d'acier d'une épaisseur de $0^m,0015$, fermée de toutes parts et laissant entre elles et la chaudière un intervalle variant de $0^m,0255$ à $0^m,050$.

Cette enveloppe est supportée par une carcasse en fer convenablement disposée et assemblée au moyen de vis ; les joints des tôles qui la composent sont recouverts par des cercles en laiton.

Supports de la chaudière. — La chaudière, fixée d'une manière invariable sur les cylindres par sa boîte à fumée, repose sur un support à dilatation, formant entretoise des longerons, placé à l'avant de la boîte à feu, par l'intermédiaire des cales fixées en dessous de son corps cylindrique, qui doivent glisser librement sur ce support.

A l'arrière, elle repose et est maintenue sur des longerons intérieurs, au moyen de quatre supports à agrafe permettant sa libre dilatation, et par deux supports formant glissoirs sur la tranche supérieure de ces longeronnets.

2° Chassis. — Les dimensions principales du châssis sont les suivantes :

Écartement intérieur des longerons	$1^m,708$
Épaisseur des longerons	0 ,027
Hauteur au droit des boîtes	0 ,310
Hauteur totale	0 ,970
Longueur totale	10 ,080
La largeur totale extérieure des tabliers est de	2 ,800

Le châssis, placé extérieurement aux roues, est formé de deux longerons découpés avec leurs plaques de garde et leurs entretoises, dans des feuilles de tôle d'acier doux.

Les longerons sont entretoisés entre eux, à l'avant, par la

traverse et les tôles de l'attelage, par les cylindres qui sont intérieurs, par deux entretoises en tôle et cornières placées sous le corps cylindrique, et dont une formant support des glissières des pistons, et l'autre support de la chaudière, et par une entretoise placée derrière la boîte à feu, enfin, par l'attelage et la traverse d'arrière. Les traverses et entretoises sont soit en fer, soit en acier.

Deux longeronnets supportant la chaudière à l'endroit de la boîte à feu s'étendent intérieurement aux roues, entre l'entretoise d'arrière des longerons et celles placées sous le corps cylindrique par le travers de la boîte à feu contre lesquelles ils sont fixés ; ces longeronnets sont en tôle d'acier de 280 millimètres de hauteur et de 18 millimètres d'épaisseur ; leur écartement intérieur est de $1^m,226$.

Un longeronnet formant plaque de garde de la boîte à graisse intérieure de l'essieu coudé s'étend à proximité de l'axe longitudinal de la locomotive, entre les deux entretoises des longerons placés sous le corps cylindrique, contre lesquelles il est fixé ; ce longeronnet est en tôle d'acier de 18 millimètres d'épaisseur; il a 195 millimètres de hauteur dans l'axe de l'essieu, et sa hauteur totale est de $0^m,933$.

Les appareils de choc et de traction consistent dans une traverse en tôle fixée aux longerons et aux tôles d'attelage, au moyen de cornières. Cette traverse est munie de deux tampons de choc à ressorts du système Belleville, d'un crochet exerçant la traction sur les tôles d'attelage par l'intermédiaire d'un ressort à lames, d'un tendeur d'attelage identique à celui adopté par la Compagnie pour tout son matériel voitures et wagons et de deux chaînes de sûreté.

La traverse d'avant, susceptible d'être démontée pour le montage et le démontage des pistons, est fixée au moyen de boulons. Les buttées des ressorts de traction sont, pour l'attelage d'avant, des blocs en fonte boulonnés entre les tôles d'attelage, et, pour celui d'arrière, des blocs en fer cémenté et trempé, boulonnés sur les entretoises des tôles d'attelage.

Les chaînes de sûreté pivotent à l'avant sur des chevilles traversant les tôles d'attelage et, à l'arrière, elles sont engagées dans des pitons fixés sur la traverse.

Des chasse-pierres sont fixés à l'avant et à l'arrière de la locomotive; leur hauteur au-dessus du rail est de 0m,080.

Essieux, roues, boîtes, suspension. — Les dimensions des essieux, des roues, des boîtes et de la suspension sont les suivantes :

Essieu coudé

Diamètre au corps	0m ,195
Longueur de la fusée extérieure	0 ,260
Diamètre du tourillon de la manivelle intérieure en son milieu	0 ,200
Longueur de tourillon de la manivelle intérieure en son milieu	0 ,120

Essieux accouplés premier et troisième avant

Diamètre au corps	0m ,180
— au calage des roues	0 ,210
Longueur des fusées	0 ,260

Essieu d'arrière

Diamètre au corps	0m ,175
— au calage des roues	0 ,220
Longueur des fusées	0 ,320

Roues

Diamètre à la jante tournée	des roues accouplées	1m ,420
	des roues porteuses.	1 ,220
Épaisseur des bandages au roulement	roues accouplées ...	0 ,070
	roues porteuses	0 ,080
Largeur de la jante	.....	0 ,130
Diamètre au contact du rail	roues accouplées ...	1 ,560
	roues porteuses.....	1 ,380
Écartement intérieur des bandages des roues..		1 ,355

L'essieu moteur est coudé; les trois autres essieux sont droits. Les trois essieux d'avant sont identiques. Ils sont tous les quatre en acier fondu; ils ont leurs fusées placées extérieurement aux roues. Pour faciliter le passage dans les courbes, l'essieu porteur placé à l'arrière a, dans ses boîtes et de chaque côté, un jeu de 0m,010. Le jeu est réglé par des plans inclinés interposés entre la boîte et son coussinet.

Les corps de roues sont en fer forgé avec les contrepoids qui doivent équilibrer, outre la totalité du poids des pièces animées du mouvement de rotation, le quart du poids des pièces à mouvement alternatif.

Les corps de roues sont emmanchés sur les essieux, à la presse hydraulique, sans clavetage pour les roues porteuses, avec clavetage pour les roues motrices et accouplées.

Les manivelles motrices de l'essieu coudé sont munies de frettes en fer. Les manivelles extérieures sont diamétralement opposées aux manivelles de l'essieu coudé placées du même côté de la locomotive.

Les manivelles d'accouplement sont en acier.

Les boîtes des essieux sont en fer cémenté et trempé avec des coussinets en bronze garnis de métal antifriction; elles sont guidées dans les longerons au moyen de glissières en fonte, boulonnées sur des plaques de garde, et de coins de rattrapage en fer cémenté et trempé. Les boîtes de l'essieu porteur d'arrière sont munies de plans inclinés interposés entre le corps de la boîte et le coussinet. Les boîtes sont munies de siphons pour le graissage de la fusée, d'un couvercle pour le réservoir d'huile et d'un dessous de boîte avec tampon graisseur.

La locomotive est suspendue sur ses boîtes extérieures au moyen de ressorts distincts placés au-dessus des boîtes à l'extérieur des longerons; des balanciers en fer, garnis d'articulations, cémentés et trempés, servent à conjuguer entre eux, d'une part, les ressorts des deux roues d'avant et motrice, d'autre part, les ressorts des deux roues d'arrière et troisième avant.

Cylindres, mouvement, distribution. — Les dimensions principales des cylindres, du mouvement et de la distribution sont les suivantes :

Diamètre des cylindres.....	0m ,460
Course des pistons.....	0 ,600
Inclinaison de l'axe des cylindres sur l'horizontale : 0m,124 par mètre ou.....	7° 1'
Écartement des cylindres d'axe en axe...	0m ,930
Diamètre des tiges de pistons..... .	0 ,070

Rayon d'excentricité des poulies d'excentriques	0m,065
Course maximum des tiroirs	0 ,125
Angle d'avance des excentriques	30°
Diamètre intérieur du tuyau de vapeur.	0m,105
Longueur des lumières d'introduction	0 ,330
Largeur —	0 ,042
Largeur de la lumière d'échappement	0 ,090
Longueur —	0 ,282
Recouvrement extérieur	0 ,030
— intérieur	0 ,0125

Le réglage de la distribution est fait de façon que les avances linéaires soient égales, pour le cran d'admission, de 20 0/0 de la marche avant.

Les cylindres sont placés intérieurement aux longerons et assemblés dans l'axe de la locomotive au moyen de boulons; les faces d'assemblage, qui sont soigneusement dressées, portent de légères rainures triangulaires, et le joint est fait par l'interposition d'une feuille de cuivre de 0m,004 d'épaisseur. A leur partie supérieure, ils sont munis de rebords en forme de cornières sur lesquels se boulonne la boîte à fumée de la chaudière; à leur partie inférieure, deux entretoises en fer forgé soigneusement, ajustées entre les pattes d'attache et maintenues par les boulons de fixation des cylindres, concourent à l'entretoisement des longerons entre eux.

La table des lumières est placée verticalement; les plateaux d'avant et d'arrière sont bombés vers l'intérieur, de façon à épouser la forme du creux des pistons.

Le montage des plateaux est fait en laissant à l'avant un jeu de 0m,015 entre la face intérieure du plateau et du piston, à fond de course, et à l'arrière un jeu de 0m,010.

Les tiroirs de distribution de vapeur sont en bronze, garni de métal antifriction.

Les pistons sont en fer, du type suédois à âme centrale, avec deux segments en fonte; la tige du piston est en acier; elle est renflée dans la partie servant à son clavetage dans la tête de piston.

Les pistons sont guidés au moyen d'une fausse tige à travers le plateau d'avant; un fourreau en laiton fixé sur la tra-

verse d'avant sert à garantir le personnel contre les chocs que peuvent occasionner ces fausses tiges pendant la marche.

Les cylindres et les tiroirs sont munis de graisseurs à distance, qui sont placés à l'arrière de la locomotive, à la portée du mécanicien, et la matière lubrifiante est conduite à la boîte à vapeur dans des tuyaux en cuivre ayant comme diamètre intérieur 10 millimètres, extérieur 13 millimètres.

Les cylindres portent des bossages pour le raccordement des tuyaux d'échappement de vapeur de la pompe de compression d'air du frein.

Chaque tête de piston est guidée par une glissière en acier placée à la partie supérieure et fixée à l'avant sur la face d'arrière du cylindre, à l'arrière, sur l'entretoise d'avant des longerons.

Les bielles motrices et d'accouplement sont en fer cémenté et trempé pour les têtes, clavettes, etc.

La grosse tête de bielle motrice est à chape ouverte avec clavette de serrage des coussinets. Les coussinets sont en acier moulé garni de métal antifriction et de barrettes en bronze. La petite tête de bielle est à œil, munie d'une bague en bronze.

Les têtes de bielles d'accouplements sont à chape fermée garnie de coussinets en bronze munis de métal antifriction.

Tout le mouvement de distribution est en fer cémenté et trempé; il est intérieur à la locomotive; les coulisses sont du système Stephenson, à deux flasques; elles sont suspendues aux leviers de l'arbre de relevage. Cet arbre, porté par des paliers à la partie inférieure de l'entretoise d'avant des longerons, est commandé par un arbre intermédiaire, fixé à la partie supérieure de la même entretoise et aux longerons, au moyen d'une barre de relevage et d'un appareil de changement de marche à vis.

Cet appareil consiste dans un support en fonte fixé sur la chaudière, dans une vis à trois filets carrés commandée par un volant muni du cliquet d'arrêt nécessaire pour le fixer dans ses différentes positions.

Les poulies d'excentriques commandant les coulisses sont calées sur l'essieu moteur, à l'intérieur des roues; elles sont en fonte. Les colliers sont en fer garni de métal antifriction.

Des bielles de suspension auxiliaires sont fixées sous la chaudière, pour supporter les bielles de tiroirs en cas d'avaries.

Toutes les garnitures de tiges de pistons et de tiroirs sont métalliques, du système dit de *Kubler*.

Caisses à eau et à combustible, tabliers. — Les dimensions des caisses à eau et à combustible sont les suivantes

1° *Caisses à eau*

Nombre de caisses	2
Largeur extérieure d'une caisse	0m ,580
Hauteur extérieure —	1m ,1095
Capacité totale des caisses à eau	5m3,220

2° *Soutes à combustible*

	Latérale	D'arrière
Longueur extérieure	3m ,5125	2m ,680
Largeur extérieure	0 ,610	0 ,602 0 ,425
Hauteur extérieure	1 ,211	1 ,211
Contenance en poids	3.000 kil.	

Les soutes à eau placées de chaque côté de la chaudière, au-dessus des tabliers, ne sont pas symétriques; le côté droit est occupé tout entier par la soute à eau rétrécie, à l'arrière, de la quantité nécessaire pour permettre de loger le support du changement de marche à vis. La soute de gauche occupe l'espace laissé libre à l'avant par la soute à combustible latérale placée du même côté.

Le fond des soutes fait saillie de 0m,069, de façon à former tablier pour permettre au besoin la circulation sur toute la longueur de la locomotive.

Les soutes à eau et à combustible latérales sont supportées par des consoles fixées aux longerons, au moyen de cornières et de rivets ; les tôles de fond sont doublées aux points correspondants par des tôles de 10 millimètres d'épaisseur, qui augmenteront la surface d'appui.

Les soutes à eau sont munies à l'avant et à l'arrière de boîtes de remplissage garnies de filtres en treillage de fils de cuivre; les couvercles de ces boîtes doivent former une fermeture étanche; chaque soute reçoit, en outre, un renillard à flotteur en liège avec clapet en caoutchouc.

Ces dispositions ont pour but d'éviter le déversement de l'eau dans les soutes, sans s'opposer à leur remplissage et au fonctionnement des injecteurs. Un tuyau en cuivre de 135 millimètres de diamètre intérieur les met en communication; elles portent chacune un robinet de jauge vers l'avant et un bouchon de vidange; celle de droite porte trois autres robinets de jauge placés sur le fond arrière.

Le fond inférieur des caisses à eau et à combustible est disposé pour former couvre-roues.

Au point correspondant au milieu de l'intervalle de deux paires de roues d'avant, les deux soutes à eau présentent un évidement destiné à loger les sablières.

Frein à air. — Ces locomotives sont munies du frein *à air comprimé*, composé de six sabots en fonte agissant sur les roues motrices, troisième avant et arrière, au moyen d'arbres et de leviers disposés de façon à partager l'effort total entre les six sabots, proportionnellement au travail résistant à produire par chacun d'eux, en raison du poids sur rails de la roue sur laquelle ils agissent. La commande de ce frein se fait par l'air comprimé au moyen des appareils du frein continu automatique, système Westinghouse.

Accessoires divers, sablières. — Les sablières sont à injection de vapeur du système Gresham et Craven; elles sont doubles, pour la marche dans les deux sens; les boîtes contenant le sable sont, ainsi qu'il a été dit ci-dessus, logées dans l'intérieur des soutes à eau.

Abri, rampes et coffres à outils. — Un abri, supporté par les tôles de rampes, fermé à l'avant et à l'arrière, sert à garantir la plate-forme du mécanicien.

Les rampes ont une hauteur de $1^{m},205$ et sont à fleur avec les parois extérieures des soutes. La tôle de fermeture d'avant de l'abri est établie de façon à entretoiser la soute à eau de droite et la soute à combustible; elle porte deux fenêtres pivotant dans leur milieu sur des axes verticaux et munies d'écrans.

Deux coffres pour le petit outillage, le graissage et les effets du mécanicien et du chauffeur sont adossés à la paroi intérieure de la soute à charbon d'arrière.

Deux autres coffres affectés au même usage sont placés

sous le tablier, adossés à la traverse d'arrière et à la face extérieure des longerons.

Les tôles de l'abri et des rampes ont une épaisseur de 3 millimètres. Le toit de l'abri est en bois, de 20 millimètres d'épaisseur, établi sur des courbes en fer à U et sur des solives fixées contre les parois latérales de l'abri et recouvert d'une feuille de cuivre rouge de 1/2 millimètre d'épaisseur.

Divers. — Des marchepieds donnent accès sur les tabliers à l'arrière et à l'avant de la locomotive. Des mains courantes sont placées à l'avant de la boîte à fumée et le long des soutes, qui sont aussi munies de deux palettes de marchepieds à l'avant.

La plate-forme du mécanicien est munie de deux manchettes en tôle destinées à faciliter la surveillance sur la ligne, à l'avant de la locomotive.

Un porte-disque et un porte-signal sont fixés sur la face d'avant de la boîte à fumée.

Deux porte-disques sont placés à droite et à gauche, sur le tablier à l'avant de la machine.

Trois porte-disques, dont un à droite, un à gauche, un au milieu et deux porte-signaux, sont également fixés sur la tôle d'arrière de l'abri.

Deux cloches d'alarme sont placées, l'une à l'avant du côté droit, l'autre à l'arrière du côté gauche de la locomotive.

107. Locomotive express à roues indépendantes du Great-Western Railway (Angleterre). — La Compagnie anglaise du *Great-Western Railway* est la seule qui ait continué à employer presque exclusivement les machines à roues libres pour la traction de ses trains express et de la plupart des trains omnibus de grandes lignes. Pour satisfaire aux exigences croissantes du trafic, répondre à l'augmentation du poids des trains, remplacer enfin tout récemment les machines à voie large mises à la réforme, il a fallu successivement accroître la puissance du type depuis longtemps adopté par la Compagnie et qui n'était autre que l'ancienne machine classique de Sharp à cylindres intérieurs et châssis extérieurs, comportant trois essieux, dont deux porteurs, placés, l'un à l'arrière des cylindres, l'autre derrière le foyer. Ces machines

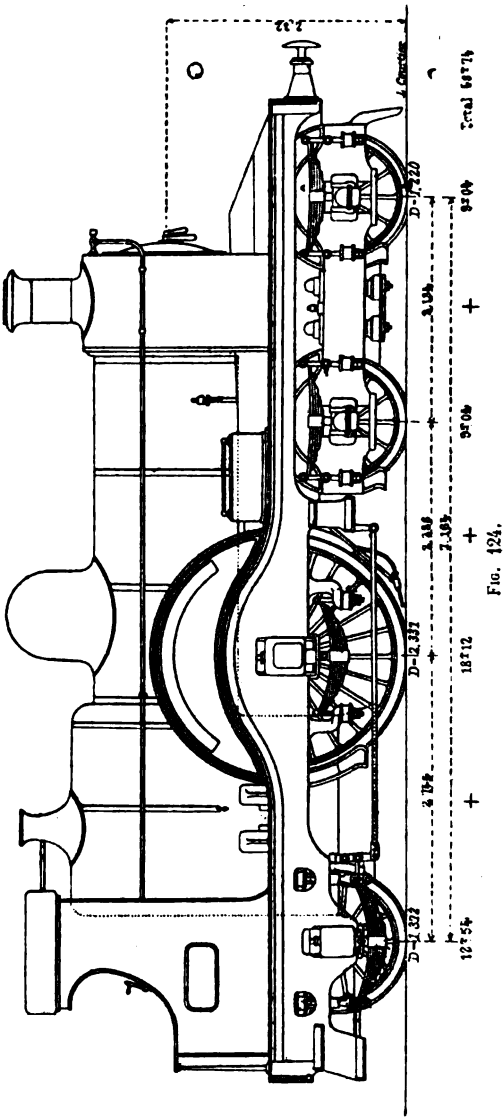


Fig. 124.

avaient suffi jusqu'en ces dernières années, grâce au profil remarquablement facile de la grande ligne de Londres à Bristol, sur laquelle elles étaient à peu près uniquement usitées pour le remorquage des trains de voyageurs.

Lorsque les nécessités du service obligèrent, en 1893, à accroître, dans une proportion considérable, la puissance de ces machines, on dut recourir à l'adoption d'une quatrième paire de roues pour éviter une surcharge exagérée de l'essieu avant, qui fut remplacé par un bogie.

La nouvelle machine du *Great-Western*, due à M. Dean, ingénieur en chef du Matériel et de la Traction de la Compagnie, est une des plus puissantes machines à roues indépendantes qui aient jamais été construites. Elle comporte, comme on le voit sur la figure 124, un essieu moteur placé au centre, un bogie à châssis extérieur placé à l'avant, et un essieu porteur à l'arrière du foyer; l'empattement total est de $7^m,16$, bien que la chaudière soit assez courte. Les roues sont de grand diamètre: les roues motrices ayant $2^m,337$; les roues porteuses, $1^m,372$; et les roues du bogie, $1^m,220$ de diamètre.

Les longerons sont doubles; les longerons extérieurs comportent des boîtes pour les roues arrière et milieu; les longerons intérieurs n'en comportent que pour l'essieu moteur, qui se trouve ainsi chargé sur quatre fusées placées deux à deux de part et d'autre des roues.

Le châssis du bogie est extérieur; la suspension est opérée au moyen de quatre ressorts indépendants.

Les roues sont en acier moulé.

Le mécanisme, qui est intérieur, ne présente aucune particularité et ne diffère de celui des autres machines de la Compagnie que par le volume plus grand des cylindres; diamètre, $0^m,483$; course, $0^m,610$. Têtes de bielles à chapes, glissières doubles, coulisses de Stephenson actionnant directement les tiges de tiroir; relevage par une manœuvre à vis.

La chaudière est très puissante, surtout si l'on ne perd pas de vue que l'on y brûle du charbon de première qualité, en couche épaisse; la surface de chauffe totale est de $136^{m^2},10$. L'axe du corps cylindrique est placé à une hauteur de $2^m,32$ au-dessus du rail; le foyer, en saillie, comme la boîte à fumée, plonge entre l'essieu moteur et l'essieu porteur; la

grille est horizontale. L'enveloppe de la chaudière est entièrement en acier; tubes en laiton spécial et foyer en cuivre.

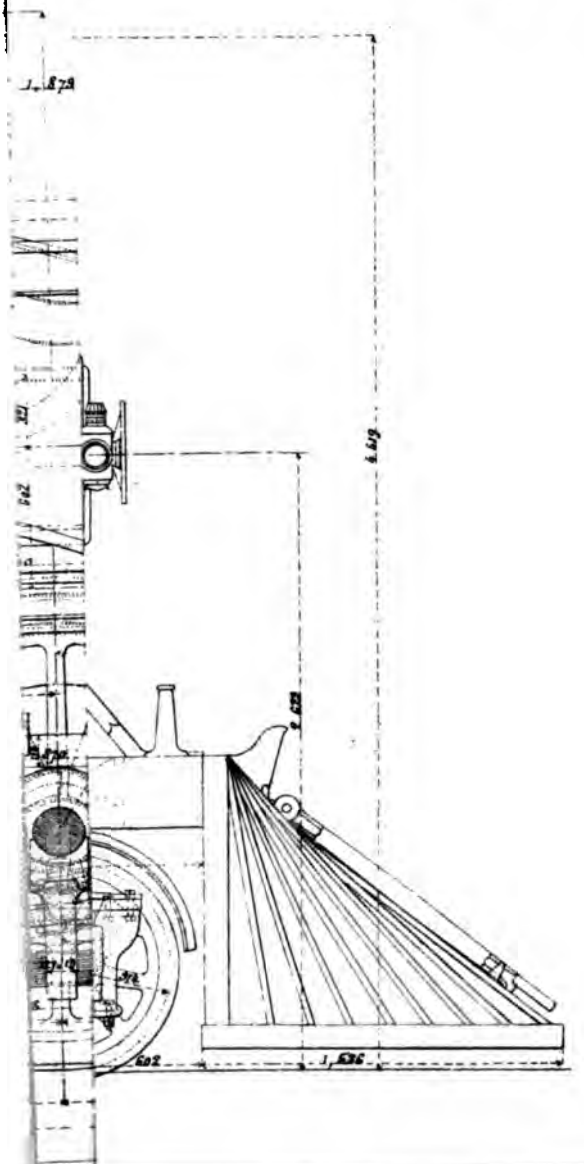
Les conditions principales d'établissement sont les suivantes :

Longueur extérieure de la boîte à feu		1m ,930
Largeur — —		1 ,220
Hauteur intérieure —		1 ,822
Diamètre minimum extérieur du corps cylindrique		1 ,295
Longueur du corps cylindrique		3 ,505
Nombre de tubes		249
Longueur utile des tubes		3m ,588
Diamètre extérieur des tubes		0 ,045
Surface de chauffe tubulaire		124m2,61
— — directe		11 ,49
— — totale		136 ,10
Surface de grille		1m2,93
Timbre de la chaudière		11kg,25
Diamètre des cylindres		0m ,483
Course des pistons		0 ,610
Répartition du poids en charge	essieu arrière.	12T,54
	— moteur.	18 ,12
	bogie	18 ,78
	Total	49T,44

Cette machine est accompagnée d'un tender bas et très long, à six roues, d'une contenance de 13m3,6 et pesant 35 tonnes en charge.

108. **Locomotive express à quatre roues accouplées du New-York Central Railroad (États-Unis).** — Les locomotives de ce type (*fig.* 125, Pl. IV), qui représentent très complètement la pratique américaine la plus récente, sont spécialement affectées au service des trains rapides et lourds circulant entre New-York et Buffalo, et dont le plus rapide est tracé à une vitesse de 84 kilomètres à l'heure. Ce sont des machines à cylindres extérieurs, à quatre roues accouplées et à bogie, qui se distinguent par leur grande puissance et par la hauteur à laquelle se trouve placée leur chaudière.

Chaudière. — La chaudière est à foyer renflé du type à *wagon-top;* elle est timbrée à 13kg,35.



UNIV. OF

gril
rem
L
van

Ce
long,
35 to

10
New-
de ce
la pr
affect
entre
une
à cyli
qui s
teur i
Ch
wago

Les rivures horizontales comportent des couvre-joints intérieurs et extérieurs ; les assemblages circulaires sont à recouvrement et ont deux rangées de rivets.

Les plaques tubulaires d'avant et d'arrière sont consolidées par des tirants de $0^m,029$ de diamètre, qui sont maintenus en place par des clavettes faisant ressort.

Les épaisseurs des tôles employées sont les suivantes :

Boîte à fumée	$0^m,0127$
Corps cylindrique	0 ,0143
Dôme	0 ,0127
Tôle d'arrière de la boîte à feu	0 ,0143
Côtés de la boîte à feu	0 ,0143
— d'avant	0 ,0143
Plaque tubulaire d'arrière	0 ,0143
Côtés du foyer	0 ,008

Les fermes du foyer, au nombre de 21, sont espacées également, et la distance d'axe en axe de deux fermes consécutives ne dépasse pas $0^m,115$; elles sont formées de deux flasques en fer de $0^m,127 \times 0^m,019$. Chaque ferme est fixée au ciel du foyer par douze rivets de $0^m,022$ de diamètre, à tête en forme de T, qui traversent des rondelles en fer placées entre la ferme et la tôle de foyer. Chacune des fermes est suspendue par quatre bielles à la tôle de pourtour de boîte à feu.

Les parties de ferme, situées sous l'ouverture du dôme de vapeur sont suspendues par des bielles prenant leur point d'attache sur le cylindre du dôme. Les extrémités des fermes par lesquelles celles-ci appuient sur le foyer sont ajustées avec soin et épousent bien exactement la forme des angles du foyer. Des entretoises ayant un diamètre de $0^m,029$ en leur milieu, et $0^m,032$ à leurs bouts, sont placées entre les fermes, de manière à lier entre eux les deux côtés du pourtour de la boîte à feu ; elles sont vissées et rivées sur ce pourtour.

Le cadre du foyer comporte deux rangées de rivets placés en quinconce. Les entretoises sont en fer creux de $0^m,025$ de diamètre extérieur et de $0^m,005$ de diamètre intérieur.

Les tirants longitudinaux sont fixés aux tôles par l'intermédiaire de cornières de $0^m,075 \times 0^m,075$.

Toutes les tôles embouties sont soigneusement recuites après emboutissage et poinçonnage.

Le dôme a un diamètre intérieur de $0^m,762$.

Les barreaux de la grille sont en fonte et du système oscillant; leur manœuvre est faite à l'aide d'un levier placé sur la plate-forme. Les barreaux sont supportés par des bâtis fixés, au moyen de goujons, sur les côtés du foyer. Le groupe de barreaux d'arrière est fixe.

Les tubes à fumée sont en acier de la meilleure qualité et sont espacés de $0^m,068$ d'axe en axe. Au montage, on intercale entre les tubes et les plaques tubulaires des bagues en cuivre recuit destinées à former joint. Les tubes sont laminés dans les plaques et ont leurs extrémités rabattues. Les angles vifs des trous des plaques tubulaires sont arrondis sur les deux faces des plaques.

La devanture en fonte de la boîte à fumée est fixée, au moyen de prisonniers, sur un cercle en fer rivé à la boîte à fumée. La boîte est munie d'une tôle perforée destinée à empêcher le passage de flammèches dans la cheminée ; cette tôle est ajustée avec soin autour des tuyaux de prise de vapeur et d'échappement et est percée d'ouvertures rectangulaires de $0^m,038$ de longueur et de $0^m,005$ de largeur. La porte est en fonte.

La cheminée, de forme cylindrique, est en fonte et entourée d'une enveloppe en tôle russe ; elle a $0^m,387$ de diamètre intérieur, $1^m,040$ de hauteur; sa partie supérieure se trouve à $4^m,343$ au-dessus du rail.

Accessoires. — Deux soupapes de sûreté, système Richardson, de $0^m,076$ de diamètre, sont montées sur le couvercle du dôme.

Le régulateur comporte deux soupapes équilibrées. Il est placé dans le dôme et actionné par un levier double relié à une tringle de commande qui traverse la chaudière à l'arrière.

Le tuyau de prise de vapeur situé dans la chaudière a $0^m,178$ de diamètre extérieur. Il est en fer soudé par recouvrement et pourvu de brides à emboîtement en bronze, rivées et matées sur le tuyau.

Les tuyaux d'échappement sont en fonte ; ils comportent deux orifices de $0^m,089$ de diamètre.

Les injecteurs sont du système Monitor. Un injecteur n° 19 est placé à droite, et un injecteur n° 9 à gauche. Ils sont montés en dehors de la cabine, mais sont disposés de façon que les manivelles se trouvent à l'intérieur de celle-ci.

Les longerons sont en fer martelé de bonne qualité et ont toutes leurs faces dressées à la machine. Le corps principal de chacun d'eux est solidement boulonné et claveté sur la partie principale.

Les longerons sont reliés entre eux : 1° par une entretoise à l'arrière ; 2° par une entretoise passant sous l'avant du foyer et fixée à chacun des longerons par deux boulons de $0^m,025$; 3° par une entretoise placée à l'avant de la boîte à feu et solidement boulonnée aux longerons ; 4° par une entretoise située à l'arrière des cylindres ; 5° enfin, par une entretoise placée à l'avant des cylindres.

La partie arrière de la chaudière est supportée et fixée : 1° sur une genouillère attachée à la tôle d'arrière de la boîte à feu et reposant sur un support fixé à la plate-forme ; 2° sur chacun des côtés de la boîte à feu, par une bielle dont la tête inférieure est montée sur un axe venu de forge avec un support fixé à la boîte à feu ; 3° par une glissière fixée sous le corps cylindrique et posant sur un support qui est attaché à l'entretoise de châssis placée à l'avant de la boîte à feu.

Cylindres, pistons et tiges. — Les cylindres extérieurs sont boulonnés entre eux, à la boîte à fumée et aux longerons ; ils sont, en outre, clavetés sur ces derniers. Leur couverture se compose d'une enveloppe extérieure en tôle russe. Le graissage est effectué au moyen d'un appareil Nathan à débit constant, pourvu de deux orifices et comportant des tubes en cristal, pour permettre de contrôler l'écoulement de l'huile ; ce graisseur est placé dans la cabine du mécanicien, et ses tuyaux passent sous la couverture de la chaudière.

Les pistons et leurs segments sont en fonte.

Les glissières se composent de quatre barres en fer martelé, cémenté et trempé. Les godets graisseurs sont venus de forge avec les barres.

Les tiges de piston et de tiroir sont pourvues de garnitures métalliques de la *United States metallic-packing Company.*

Mécanisme de distribution. — La distribution de la vapeur

est opérée au moyen de coulisses intérieures et d'un renvoi de mouvement.

Les tiroirs sont en fonte dure et à grain serré ; ils sont équilibrés au moyen du dispositif Richardson. Leurs cadres et leurs tiges sont en fer.

Bielles motrices et d'accouplement. — Les bielles sont en fer martelé ; leur section est en forme de I. Les deux têtes de bielles motrices sont du type dit à chapes. Les chapes sont fixées au moyen de boulons et de clavettes ; elles comportent un godet graisseur venu de forge. Les bielles d'accouplement sont à têtes rondes, garnies de bagues en bronze passées à la presse sous une pression de 14 tonnes. Les godets graisseurs sont venus de forge sur les bielles.

Le bronze des coussinets et des bagues a la composition suivante :

Cuivre.....	4 parties
Métal Ajax.....	1 partie

Roues et essieux. — Les essieux moteur et accouplé sont en fer martelé ; leurs fusées ont $0^m,216$ de diamètre et $0^m,318$ de longueur.

Les roues motrices et accouplées sont en fonte au bois.

Les bandages sont en acier de Midvale. Ils ont $0^m,146$ de largeur et $0^m,089$ d'épaisseur. Ils sont posés à chaud et maintenus au moyen d'anneaux Mansell réunis par des boulons traversant la jante.

Les tourillons des manivelles des roues sont en fer martelé ; ils sont cémentés et trempés. Le bouton des bielles motrices a $0^m,130$ de diamètre et $0^m,140$ de longueur ; ceux des bielles d'accouplement ont $0^m,115$ de diamètre et $0^m,089$ de longueur.

Les boîtes des essieux moteurs sont disposées pour former coussinets ; elles sont en bronze avec dessous de boîtes en fonte.

Le bogie se compose d'un châssis en fer forgé sur lequel sont fixées les glissières de boîtes d'essieu, également en fer forgé. Le pivot est monté sur une plaque en fonte qui repose sur les traverses des bogies. Toutes les parties de ce dernier sont ajustées à la machine.

Le bogie ne comporte aucun dispositif permettant un déplacement latéral.

Les fusées des essieux ont $0^m,152$ de diamètre et $0^m,254$ de longueur.

Les boîtes d'essieux sont en fonte, avec coussinets en bronze régulés.

Cabine. — La carcasse de la cabine est faite en fers cornières. Les panneaux et la toiture sont en noyer verni. La cabine est supportée par des consoles en fonte fixées aux longerons. Dans l'intérieur on installe des boîtes à outils et des sièges pour le mécanicien et pour le chauffeur.

Tender. — Le châssis se compose de fers cornières de $0^m,165 \times 0^m,102 \times 0^m,019$ convenablement reliés entre eux et entretoisés. Il est recouvert d'un plancher en sapin de $0^m,051$ d'épaisseur, sur lequel on pose, dans la partie formant soute à combustible, un deuxième plancher en chêne de $0^m,025$; on recouvre ce dernier d'une tôle fixée au moyen de vis à tête fraisée.

Les caisses sont formées de tôles de $0^m,006$ réunies par des rivets de $0^m,011$, espacés de $0^m,038$.

La trompe pour la prise d'eau en marche est commandée par un levier placé sur le côté gauche de la soute à combustible.

L'attelage d'arrière est du système Gould. La hauteur de l'axe de l'attelage au-dessous du rail est de $0^m,889$.

Un tampon sec est fixé sur la traverse d'arrière; la partie supérieure de ce tampon est à une hauteur de $1^m,270$ au-dessus du rail.

L'attelage d'avant se compose d'une barre de traction rigide et de chaînes de sûreté.

Les bogies ont deux essieux espacés de $1^m,344$ d'axe en axe; ils comportent deux bâtis en fer et une traverse formée de deux fers en U placés de champ et réunis à la partie supérieure et à leur partie inférieure par des tôles rivées; des chapeaux en fonte forment les extrémités de la traverse.

CHAPITRE VIII

LES LOCOMOTIVES COMPOUND

109. L'application du mode compound aux locomotives s'est assez répandue depuis quelques années pour faire l'objet d'un chapitre spécial. Nous rappellerons brièvement le principe du système, les principaux dispositifs usités dans la pratique, et surtout nous passerons en revue les différents types de locomotives compound adoptés par les Compagnies françaises.

La locomotive du type ordinaire ou à simple *expansion* comporte deux cylindres égaux, actionnant des manivelles à angle droit et recevant chacun directement la vapeur de la chaudière. Les tiroirs sont disposés de manière à n'admettre cette vapeur que pendant une fraction variable et déterminée de la course du piston, la vapeur travaillant ensuite par sa détente. Or, à mesure que les pressions s'élevaient, on sentait la nécessité d'accroître le degré de détente au-delà des limites que les tiroirs ordinaires pouvaient atteindre. Les distributions à quatre obturateurs, avec ou sans déclic, bien qu'un peu compliquées, donnaient une solution mécanique de ce problème, appliquée, nous l'avons vu, sur une certaine échelle, par deux administrations françaises, les chemins de fer d'*Orléans* et de l'*État*.

Mais, au point de vue de l'économie du fonctionnement, on ne doit pas seulement considérer la valeur du rapport de détente, mais aussi le mode de production de cette détente. Contrairement aux indications de la théorie, la marche n'est pas, en pratique, d'autant plus économique que la pression est plus élevée et la détente plus prolongée.

Une perte vient contrebalancer le bénéfice dû à l'augmentation du rendement théorique, et on attribue cette perte en toute certitude, aujourd'hui, aux *condensations initiales* et aux *réévaporations* pendant la détente et l'échappement qui en sont le corollaire. La vapeur d'admission, à son entrée au cylindre, vient en contact avec des parois dont la température est notablement inférieure à la sienne ; elle se condense donc en partie sur ces parois, qu'elle échauffe. Pendant la détente et au cours de l'échappement, la pression à l'intérieur du cylindre diminuant progressivement, l'eau résultant de cette condensation se vaporise aux dépens de la chaleur préalablement fournie à ces parois, qui retombent à leur température initiale, et ainsi de suite.

L'importance de ces phénomènes est d'autant plus grande que l'écart total des températures pendant la détente, toutes choses égales d'ailleurs, est plus considérable. Le principal avantage du mode compound consiste à réduire l'écart de température dans le cylindre entre l'admission et l'échappement.

Dans la machine compound, on limite, dans un premier cylindre recevant seul la vapeur vive de la chaudière, le degré de détente et la transformation du calorique en travail. La vapeur qui s'en échappe est ensuite dirigée à l'intérieur d'un second cylindre, de plus grand volume, où elle continue à se détendre et à produire un travail utile. Si, au lieu de deux cylindres, on en dispose trois ou quatre, de volume croissant, que la vapeur traverse successivement avant de s'échapper, on obtient les machines à triple et à quadruple expansion, employées dans la Marine, et qui représentent une expression plus complète du moteur à vapeur à *expansion fractionnée* ou *multiple*. En ce qui concerne les locomotives qui ne sont pas à condensation, on se contente de la double expansion, qui paraît suffire dans la circonstance.

Les appareils compound sont directement issus de la machine de Woolf, contemporaine de la machine de Watt; ils sont dits à *réservoir*, quand les pistons, au lieu de se mouvoir pendant toute la course, dans le même sens ou en sens contraire, commandent deux manivelles calées à 90°. On dispose alors, entre les deux cylindres, un *réservoir intermédiaire*

qui reçoit la vapeur d'échappement du petit cylindre et la fournit au grand, à mesure que son tiroir en permet l'introduction.

En résumé, toute machine compound est un moteur qui comprend deux cylindres de volumes différents, dont les pistons commandent des manivelles ordinairement calées à angle droit. Si les pistons sont fixés sur la même tige ou actionnent deux manivelles calées à 180°, la machine est dite du type Woolf. La vapeur est admise dans le petit cylindre et commence à s'y détendre faiblement; puis, elle s'échappe à une pression, moindre déjà, dans un espace clos dont le volume est suffisant pour que la tension n'y puisse pas varier sensiblement pendant un tour complet de la manivelle. De ce réservoir, la vapeur est distribuée au grand cylindre, où elle travaille uniquement par sa détente.

Chacun des deux cylindres peut lui-même se fractionner en deux autres cylindres de même volume total ; les locomotives compound à quatre cylindres sont des machines à double détente, comme les compound à deux cylindres ; seulement elles comportent deux cylindres à haute pression e deux cylindres de détente.

L'honneur des premières applications pratiques du mode compound aux locomotives revient à notre compatriote M. A. Mallet, qui a déterminé, en outre, les conditions fondamentales de leur établissement et a beaucoup contribué à leur développement.

110. Les **différents systèmes de locomotives compound** sont caractérisés par le nombre et l'arrangement relatif des cylindres ou par la disposition des appareils propres à faciliter le démarrage.

Les locomotives compound sont à deux, trois ou quatre cylindres.

La *disposition à deux cylindres* a été adoptée dès l'origine par M. Mallet, puis, en Angleterre, par M. Worsdell et, en Allemagne, par M. Von Bories. C'est la plus simple de toutes et la plus facilement applicable aux machines existantes. Une locomotive compound de ce système ne diffère d'une locomotive ordinaire qu'en ce qu'elle comporte deux cylindres de diamètres différents et une valve de démarrage.

La locomotive compound à deux cylindres, en effet, ne saurait, sans l'addition d'un appareil spécial, démarrer dans toutes les positions des manivelles, puisqu'un seul cylindre est en rapport direct avec la chaudière. Si la manivelle correspondante est à un point voisin de l'extrémité de la course, le cylindre n'est pas en admission, et la machine ne peut démarrer. On y remédie en introduisant, à l'aide d'une valve spéciale, la vapeur de la chaudière, mais à une pression réduite, dans la boîte à tiroir du grand cylindre et en l'empêchant, à l'aide d'une autre soupape ou d'un tiroir, d'exercer, par le conduit d'échappement, une pression antagoniste sur la face opposée du petit piston.

Les systèmes de démarrage sont *automatiques* ou *non automatiques*.

Dans les premiers, c'est l'élévation de la pression dans le réservoir intermédiaire, provenant de l'échappement du petit cylindre, qui détermine la fermeture du tuyau d'admission de vapeur vive au grand cylindre, après le démarrage. La machine se conduit alors exactement comme une locomotive ordinaire ; elle se remet d'elle-même au régime compound.

Dans le système non automatique, c'est le mécanicien qui, à l'aide d'une manœuvre spéciale, détermine l'admission de vapeur vive au grand cylindre, l'y maintenant aussi longtemps qu'il le juge nécessaire, et la supprime à volonté.

Le dispositif automatique, qui paraît plus satisfaisant à première vue, semble céder le pas au dispositif non automatique de M. Mallet, qui permet de faire varier, entre des limites plus étendues, la puissance de la machine et augmente son élasticité. On est, d'autre part, garanti contre l'abus que pourraient faire les mécaniciens du fonctionnement direct par les primes d'économie qui leur sont payées.

Les machines à trois cylindres, préconisées et employées par M. Webb sur le *London and North-Western Railway*, n'ont pas besoin de dispositif spécial de démarrage, parce qu'elles comportent deux cylindres à haute pression actionnant un essieu arrière dont les manivelles sont calées à angle droit. Le cylindre de détente, unique et de grand volume, est placé à l'avant dans l'axe et commande l'essieu milieu. Il n'y a pas de bielles d'accouplement, ce qui adoucit un peu le fonc-

tionnement. Pour le démarrage, quand le régulateur est ouvert, il y a généralement patinage des roues arrière, dont l'adhérence est insuffisante pour la charge à remorquer. Très rapidement, le réservoir intermédiaire se remplit de vapeur, et le grand piston se trouve actionné à son tour. Ces locomotives se comportent bien en vitesse, mais elles offrent souvent au démarrage des patinages successifs des deux paires de roues, et la mise en route est parfois pénible.

La *locomotive compound à quatre cylindres*, qui comprend toujours deux cylindres à haute pression et deux cylindres à basse pression, peut appartenir à trois types principaux représentés par :

Les *machines Woolf tandem :* chacune des deux manivelles motrices est actionnée par deux cylindres, l'un à haute, l'autre à basse pression, placés dans le prolongement l'un de l'autre ; ce type n'est pas employé en France ;

Les *machines à quatre cylindres actionnant autant de manivelles* calées à peu près à 90° les unes des autres et autant que possible appartenant à deux essieux distincts. C'est le type le plus employé en France ; nous le verrons ailleurs;

Les *machines articulées du type Mallet*, dont nous parlons aussi plus loin, et qui répondent d'une manière très satisfaisante à ce *desideratum* si important pour les locomotives appelées au remorquage des trains sur des lignes très accidentées : combinaison de l'adhérence totale et de la souplesse.

A part quelques exceptions intéressantes, que nous examinerons, c'est le système compound à quatre cylindres actionnant deux essieux différents qui jouit actuellement, en France, de la plus grande faveur.

Nous examinerons, dans ce qui suit, les types principaux actuellement usités, soit à titre d'essai, soit à titre de modèles courants par les différentes Compagnies françaises.

111. Compagnie du Nord. — La Compagnie du *Nord* a mis en service, en 1886, la première machine compound à quatre cylindres et à deux essieux moteurs qui ait, pensons-nous, été usitée. Cette machine ne différait, d'autre part, que par ses détails, du type ordinaire d'express employé jusque-là

par la Compagnie, ce qui rendait l'expérience assez concluante et les résultats comparables. La disposition des cylindres de cette machine, construite dans les ateliers de la *Société Alsacienne*, à Belfort, a été adoptée d'après les plans de M de Glehn; en vue de faciliter le démarrage, on disposa deux cylindres intérieurs à haute pression, commandant les manivelles calées à angle droit sur l'essieu milieu et deux cylindres de détente égaux à l'intérieur des longerons, actionnant l'essieu arrière, qui passait au-dessous du foyer. Il n'y avait pas de bielles d'accouplement.

Cette machine (n° 701) est restée le proto-type du modèle actuellement employé par la Compagnie du *Nord* et qui en diffère surtout par la position, à l'extérieur, des cylindres admetteurs, les cylindres de détente se trouvant à l'intérieur.

L'année suivante, la même Compagnie mettait en service une locomotive mixte à trois essieux accouplés du système compound à trois cylindres réalisée suivant un type particulier et due à M. E. Sauvage, alors ingénieur principal des ateliers de cette Compagnie. Cette locomotive, qui a figuré, comme la précédente, à l'Exposition de 1889, peut marcher indifféremment en compound ou à simple expansion. Les trois cylindres, dont un intérieur, sont placés à l'avant, sur la même ligne, entre l'essieu accouplé avant et un essieu directeur à boîtes radiales. Les trois bielles attaquent le deuxième essieu accouplé. Le cylindre intérieur placé dans l'axe est le cylindre à haute pression; les autres cylindres, extérieurs et égaux, sont les cylindres de détente. La distribution des deux cylindres extérieurs est du système Welschaërt, celle du cylindre à haute pression est d'un système particulier, à deux tiroirs superposés, dont la description nous entraînerait trop loin et qui permet, par une manœuvre très simple, d'admettre directement la vapeur, pour le démarrage par exemple, dans les boîtes à tiroir des deux grands cylindres; le piston à haute pression, recevant la vapeur sur ses deux faces, trouvait son action annulée, et la machine fonctionnait en simple expansion. En reportant, à l'aide d'une commande spéciale à la main du mécanicien, le tiroir supérieur vers la droite, l'admission directe de la vapeur aux grands

cylindres se trouve supprimée, et le fonctionnement redevient compound.

A l'Exposition de 1889, la Compagnie du *Nord* montrait un autre type de machine compound, modification d'une des 400 locomotives à marchandises à huit roues accouplées que possédait alors cette administration. M. du Bousquet, ingénieur en chef de la Compagnie, qui avait étudié cette locomotive, s'était imposé le programme de s'écarter aussi peu que possible du type courant, afin que la modification lui fût facilement applicable au cas où l'expérience justifierait son extension.

Le cylindre unique de ces locomotives est simplement remplacé par deux cylindres doubles placés en tandem : le petit cylindre ayant $0^m,380$ de diamètre, et le grand $0^m,660$, avec une course commune de $0^m,650$, un rapport de volume égal à trois. Le grand cylindre est en avant du petit, placé entre les deux tiges du piston B, P, qui actionnent une crosse commune avec la tige du petit cylindre. Les quatre cylindres actionnent le troisième essieu, les trois tiges de piston de chaque groupe étant réunis par une même crosse.

La distribution est opérée par un tiroir unique à canal intérieur, et la vapeur suit le trajet indiqué par les flèches, pour passer du petit au grand cylindre.

Cette locomotive fonctionne habituellement en compound, même pour le démarrage, bien qu'une prise de vapeur spéciale permette l'introduction directe au grand cylindre. Cette disposition rend la machine très puissante au démarrage.

Le mécanisme n'a subi de modification dans aucune de ses parties.

Encouragée par les excellents résultats donnés par la locomotive n° 701, tant sous le rapport de l'économie de charbon que du bon fonctionnement et de la diminution des frais d'entretien, la Compagnie du *Nord* se décida, en 1890, à commander deux autres locomotives compound dans lesquelles on tint compte des indications de la pratique nécessitant certains perfectionnements. Ces machines, étudiées et construites par la *Société Alsacienne* de Belfort, sous la direction de son administrateur, M. de Glehn, et de M. du Bousquet,

ingénieur en chef de la Compagnie, furent mises en service en 1891.

Ce type de machine, qui a donné toute satisfaction, se distingue surtout de la locomotive 701 par les points suivants :

1° Chaudière plus puissante à foyer profond, le dernier essieu se trouvant à l'arrière et non plus sous la boîte à feu ;

2° Accouplement des deux essieux moteurs, destiné à diminuer les patinages qui se produisaient au démarrage ;

3° Emploi d'un dispositif permettant, quand la nécessité s'en fait sentir, d'envoyer directement la vapeur des petits cylindres à l'échappement, en alimentant les grands cylindres par de la vapeur à 6 kilogrammes prise directement à la chaudière ;

4° Addition d'un bogie à l'avant, au lieu de l'essieu porteur.

Ces machines ont été décrites en détail, chapitre VII.

Les cylindres H, P sont placés à l'extérieur des longerons, les cylindres à basse pression à l'intérieur, sous la boîte à fumée, disposition inverse de celle adoptée pour la première machine n° 701. Les premiers actionnent l'essieu arrière, et les seconds, l'essieu intermédiaire.

La chaudière est timbrée à 14 kilogrammes.

Cette machine est accompagnée par un tender à six roues contenant 14 tonnes d'eau et 4 tonnes de charbon.

En rampe continue de 5 millimètres par mètre, ces machines remorquent facilement un train de 140 tonnes, machine et tender non compris, à la vitesse de 85 kilomètres à l'heure, et un train de 200 tonnes à la vitesse de 75 kilomètres. La vitesse varie peu avec le profil de la ligne, les nouvelles machines compound remontant les rampes à une vitesse très notablement supérieure à celle des anciennes express non compound. Avec un train de 178 tonnes nettes derrière le tender, elles ont, à la vitesse de 76 kilomètres à l'heure, développé 1.076 chevaux sur les pistons.

En service courant, la consommation de ces machines est de 15 0/0 inférieure à celle des anciennes locomotives non compound timbrées à 10 et 11 kilogrammes.

La Compagnie du *Nord* a successivement fait construire plusieurs séries de ces machines, qui font aujourd'hui le ser-

vice de la plupart de ses meilleurs express. La Compagnie a commandé, en outre, à titre d'essai, trois machines du même type, mais plus fortes, qui pèsent 52T,2 en charge, au lieu de 47T,8.

112. Compagnie du Midi. — Cette Compagnie commanda, en 1893, deux machines type *Nord*, nos 1701 et 1703, qui donnèrent d'assez bons résultats pour faire décider la commande d'autres machines ne différant des locomotives type *Nord* que par l'adoption des tubes Serve à ailettes. Les dispositions d'ensemble et de détail sont les mêmes.

Malgré la satisfaction que donnèrent ces machines, on les trouva un peu faibles, les trains de la Compagnie du *Midi* étant assez chargés. On créa alors, en 1895, un type de locomotive semblable, mais plus puissant. La surface de grille est portée de 2 mètres carrés à 2m2,42, grâce à l'allongement du foyer, qui passe au-dessus du dernier essieu, ce qui a obligé à relever l'axe de la chaudière ; le diamètre moyen du corps cylindrique est de 1m,38, au lieu de 1m,26 ; les diamètres des cylindres sont portés à 0m,350 et 0m,550, la course restant comme précédemment de 0m,640. Le diamètre des roues a été porté de 2m,113 à 2m,130, et le poids total, de 49 tonnes à 54T,2.

On trouvera, du reste, dans le tableau suivant, les dimensions principales de ces machines :

Surface de la grille	2m2,420
Longueur de la boîte à feu extérieure	2m ,600
Diamètre moyen du corps cylindrique	1 ,380
Nombre de tubes	111
Longueur des tubes entre plaques	3m ,900
Diamètre extérieur des tubes	0 ,070
Surface de chauffe du foyer	11m2,400
Surface de chauffe des tubes (moyenne)	90m2,970
Surface de chauffe totale	102 ,370
Diamètre des cylindres d'admission	0m ,350
Diamètre des cylindres de détente	0 ,550
Course des pistons	0 ,640
Pression effective dans la chaudière	14 kilog.
Diamètre des roues couplées	2m ,130
Diamètre des roues du bogie	1 ,040
Écartement des essieux extrêmes	7 ,500

Longueur de la machine de tampons à tampons.	10m,335
Effort de traction	5.100 kil.
Poids de la machine à vide.....	49.000
Poids de la machine en charge.....	54.200

113. **Compagnie de l'Est.** — La Compagnie de l'*Est* a fait construire, en 1893, d'après les plans de M. Ed. Sauvage, deux locomotives compound à six roues accouplées destinées au service des trains de marchandises rapides.

Ces locomotives sont à trois essieux accouplés placés, deux d'entre eux sous le corps cylindrique, l'autre sous le foyer, dont la longueur extérieure est de 2m,70. Le corps cylindrique mesure 1m,40 de diamètre moyen.

Les boîtes à tiroir sont placées sur le côté et inclinées; l'échappement du petit cylindre se rend dans la boîte à tiroir du grand cylindre, au moyen d'un tuyau qui contourne la boîte à fumée après avoir traversé une capacité qui renferme l'appareil spécial de démarrage. Une soupape de sûreté limite la pression dans ce tuyau formant réservoir à 5 kilogrammes par centimètre carré. L'échappement se fait normalement par le grand cylindre seul. Un échappement dérivé vient du petit cylindre et ne doit fonctionner qu'au démarrage.

L'appareil de démarrage comprend trois organes distincts: une soupape d'admission directe de vapeur dans le réservoir, un clapet d'isolement du petit cylindre et du réservoir, une soupape ouvrant une issue extérieure à l'échappement du petit cylindre. La soupape d'admission directe prend la vapeur dans la boîte à tiroir et non directement sur la chaudière, afin d'éviter tout départ intempestif de la machine au cas où cette soupape resterait ouverte pendant les stationnements.

Pour le démarrage, l'admission directe de vapeur au réservoir est ouverte, ainsi que l'échappement direct du petit cylindre, et le clapet de séparation est fermé. Pour passer à la marche en compound, le mécanisme unique de commande commence par fermer la soupape d'admission directe, puis la soupape d'échappement direct et ouvre, enfin, le clapet de séparation.

114. Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée [1]. — La Compagnie de *Paris-Lyon-Méditerranée* est actuellement celle qui, en France, emploie le plus grand nombre de machines compound pour le service des express ou des marchandises à grande vitesse.

Cette Compagnie a mis en service, à titre d'essai, au commencement de 1889, trois modèles, alors nouveaux, de locomotives compound à quatre essieux, qui ont servi de prototype aux machines actuelles, savoir :

Un type à voyageurs à grande vitesse ;

Un type à marchandises pour les lignes à profil facile et à grand trafic ;

Un type à voyageurs et à marchandises pour les lignes à fortes rampes ;

Ces trois types, étudiés sous la direction de M. Henry, alors ingénieur en chef de la Compagnie, présentent les caractères communs suivants :

Élévation du timbre de la chaudière jusqu'à 15 kilogrammes et emploi de tôles d'acier ;

Admission de la vapeur vive dans deux cylindres intérieurs, dont les pistons commandent l'un des deux essieux du milieu ;

Détente de la vapeur dans deux cylindres extérieurs actionnant l'autre essieu du milieu ;

Accouplement de ces deux essieux ;

Changement de marche par un mécanisme unique, à contrepoids de vapeur, commandant à la fois les quatre distributions et établissant entre elles, pour chaque cran de détente, un rapport indépendant de la volonté du mécanicien et rationnellement déterminé auparavant ;

Admission facultative de la vapeur vive dans le réservoir intermédiaire entre les petits et les grands cylindres, mais pour le démarrage seulement.

La vapeur se rend des petits cylindres aux cylindres de détente par des tuyaux qui traversent la partie supérieure de la boîte à fumée et dans lesquels elle se réchauffe légère-

[1] Voir les notes de M. l'ingénieur en chef Ch. Baudry : *Revue générale des Chemins de fer* (avril 1893 et novembre 1894).

ment ; ces tuyaux forment un réservoir intermédiaire, commun aux deux côtés, dont la capacité est 3 et 1/2 fois celle du volume engendré par un des petits pistons pendant une course.

Chacun de ces trois types correspond à un ancien modèle non compound dont il diffère surtout par le timbre plus élevé de la chaudière et par la disposition d'ensemble des cylindres.

Le type à grande vitesse est représenté par les locomotives C-1, C-2 qui ont quatre roues accouplées, de 2 mètres de diamètre et quatre roues porteuses de $1^m,30$, deux à l'avant et deux à l'arrière. Les cylindres de détente ont le même diamètre que ceux des anciennes machines non compound : $0^m,500$ et une course de $0^m,620$; les cylindres d'admission ont la même course, avec un diamètre de $0^m,310$.

Le deuxième type, représenté par les machines 3201 et 3202, est destiné aux trains de marchandises directs entre Paris et Lyon ou les trains de voyageurs et mixtes sur les lignes dont les rampes dépassent exceptionnellement 20 millimètres par mètre. Ces machines sont portées par huit roues accouplées d'un diamètre de $1^m,50$. Les cylindres ont respectivement $0^m,400$ et $0^m,540$ de diamètre avec une course commune de $0^m,650$; le rapport des volumes des cylindres est sensiblement de $0^m,40$.

Le troisième type est à huit roues accouplées de $1^m,260$, mais les coussinets des deux essieux extrêmes peuvent se déplacer dans leurs boîtes de 25 millimètres de part et d'autre. Les cylindres ont respectivement des diamètres de $0^m,360$ et $0^m,540$, avec une course commune de $0^m,650$ et un rapport de volumes de 0,445. Ces locomotives doivent développer toute leur puissance entre 15 et 30 kilomètres à l'heure ; elles sont destinées au service des voyageurs et marchandises sur les lignes à fortes rampes.

Pour les trois types, le mécanisme de distribution est du type Welschaërt ; toutefois, sur une des machines express, l'excentrique a été supprimée pour les mouvements des cylindres intérieurs, et la coulisse est commandée par un parallélogramme oscillant avec la bielle motrice. Les tiroirs sont du système Trick à canal. Pour éviter que la pression

dans les petits cylindres, à la fin de la période de compression, ne dépasse la pression à la chaudière, on a augmenté dans la proportion nécessaire les espaces morts.

Les cylindres de détente sont munis chacun d'une soupape de rentrée d'air, pour qu'ils n'aspirent pas les escarbilles de la boîte à fumée, pendant la marche à régulateur fermé.

Pour assurer le démarrage, on a disposé un robinet spécial de prise de vapeur qui permet au mécanicien d'admettre de la vapeur vive dans le réservoir intermédiaire. Une soupape de sûreté montée sur ce réservoir empêche que la pression puisse y dépasser 6 kilogrammes. Le démarrage est, en outre, facilité par la présence des bielles d'accouplement dont on a jugé l'emploi indispensable pour conserver l'invariabilité de la position angulaire relative des deux groupes de manivelles, ce qui permet de régulariser les moments moteurs au démarrage en marche et de diminuer les perturbations dues aux forces d'inertie.

Une des particularités principales de ces machines consiste dans la disposition spéciale de l'appareil de changement de marche adopté. Il est caractérisé par l'emploi de deux cames montées sur un même arbre horizontal, qui commandent les deux barres de relevage des coulisses, et dont les profils sont tracés de manière à maintenir entre les deux distributions le rapport voulu.

Ces trois spécimens de locomotives n'étant que des types d'essai destinés par la Compagnie à se fixer sur la valeur du mode compound, en général, et des dispositions particulières adoptées; les résultats obtenus en service ont été assez satisfaisants pour justifier le développement du système, en introduisant les modifications suggérées par la pratique soit dans la disposition générale des machines, soit dans l'arrangement des détails.

Dans le courant de 1892, la Compagnie *Paris-Lyon-Méditerranée* a mis en service trois locomotives compound appartenant à deux nouveaux types, qui se distinguent du type créé en 1888, et qui figurait à l'Exposition de 1889, par une plus grande puissance unie à une plus grande légèreté. On est surtout arrivé à ce résultat par l'emploi de tubes à fumée du système Serve. Ces machines ont, comme les précé-

dentes, des chaudières en acier timbrées à 15 kilogrammes, mais l'emploi de l'acier y a été poussé plus loin et étendu aux foyers qui, en 1888, étaient encore en cuivre.

Les cylindres sont encore au nombre de quatre, seulement les cylindres d'admission sont à l'extérieur, et ce sont les cylindres de détente qui se trouvent entre les longerons. Les pistons de ces deux paires de cylindres actionnent deux paires d'essieux que l'on a néanmoins reliés par des bielles d'accouplement. Ces deux essieux sont reportés à l'arrière, l'avant étant supporté, dans une des machines, par un essieu porteur à boîte radiale, dans les deux autres, par un bogie à déplacement latéral.

Le mécanisme de distribution des cylindres d'admission est du système Welschaërt ; celui des cylindres de détente est du type sans excentriques qui avait déjà été employé pour les cylindres intérieurs d'une des locomotives de la série précédente.

Le changement de marche se fait, comme sur ces dernières, par un mécanisme unique à contrepoids de vapeur, commandant à la fois les quatre distributions et établissant entre elles, pour chaque cran de détente, un rapport indépendant de la volonté du mécanicien et choisi d'avance. Le démarrage s'opère comme plus haut.

Les premières machines C-1 et C-2 de 1888 pesaient, en ordre de marche, 53 ,3; les nouvelles machines, C-11 et C-12, ne pèsent que 47 ,9, et la machine sans bogie, C-51, 45 tonnes seulement; pourtant, ces machines sont plus fortes que les précédentes, comme on peut s'en rendre compte par l'examen du tableau ci-dessous :

	1888	1892
Surface de grille.....	2^{m2},34	2^{m2},32
Section de passage des gaz dans les tubes.....	0^{m2},30	0^{m2},34
Surface de chauffe totale.....	119^{m2},48	147^{m2},80
Diamètre des cylindres HP.....	0^{m},310	0^{m} ,34
— — BP.....	0 ,500	0 ,54
Course des pistons.....	0 ,620	0 ,62

L'accroissement de la vaporisation paraît supérieur à celui de la surface de chauffe, par suite de la meilleure utilisation

du calorique résultant de l'emploi des tubes Serve. Le diamètre du corps cylindrique a été porté de $1^m,26$ à $1^m,32$; le nombre des tubes, de 113 à 133.

La pratique a confirmé les espérances qu'avait données l'emploi du mode compound combiné avec l'élévation de la pression à 15 kilogrammes. Aussi, la Compagnie *Paris-Lyon-Méditerranée* mit-elle en service, dans le courant de l'année 1894, d'autres locomotives destinées aux trains rapides et grâce auxquelles on a pu accélérer la vitesse de ces trains sans diminuer leur charge, et réduire à treize heures le trajet de Paris à Marseille.

Ce nouveau type, dû à M. Ch. Baudry, ingénieur en chef de la Compagnie, dérive de celui des machines de 1892, précédemment décrites, et qui devaient être encore considérées comme des machines d'essai. Il en diffère toutefois par un certain nombre de points importants.

Les nouvelles machines sont, comme les précédentes, du système compound à quatre cylindres; les deux cylindres d'admission directe sont extérieurs et agissent sur le quatrième essieu; ceux de détente sont intérieurs et commandent le troisième essieu. Malgré cette division de la puissance motrice, on a conservé l'accouplement, les manivelles des cylindres de détente étant calées en avance de 135° sur celles des cylindres d'admission.

Les chaudières sont sensiblement des mêmes dimensions que celles de 1892.

Les tubes à ailettes, au nombre de 133, ont 3 mètres de longueur et $0^m,065$ de diamètre extérieur. La chaudière, entièrement en acier, à l'exception du foyer, est timbrée comme précédemment à 15 kilogrammes.

Rien n'a été changé à la disposition des cylindres, non plus qu'à leurs dimensions, mais les conduits de vapeur allant de la chaudière aux petits cylindres, et de ceux-ci aux grands, ont été disposés d'une manière toute différente : au lieu de leur donner, dans la boîte à fumée, un grand développement, on s'est attaché à les faire aussi courts et directs que possible, renonçant à les réchauffer en les déviant à l'intérieur de la boîte à fumée.

Le mécanisme des petits cylindres n'a pas été modifié,

UNIV.
OF
MICH.

27

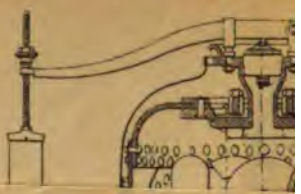
du
dia
le
I
plo
sio
Méc
189
grâ
san
de I
C
la C
dem
com
cert
Le
systè
d'ad
quat
man
sanc
des
celle
Les
que c
Les
longu
tièrem
précé
Rie
plus
allant
grand
lieu d
lopper
que po
térieu
Le

...mures n'a pas été modi

Fig. 126. Coupe longitu

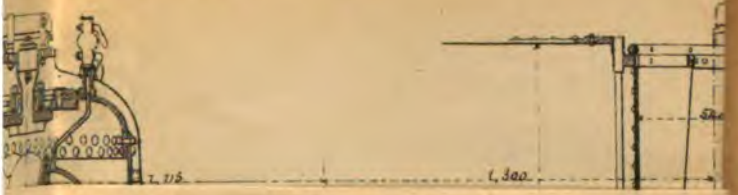
MPOUND A HUIT ROUES ACCOUPLÉES

inale

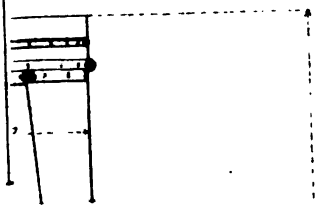


canisme des petits cylindres n'a pas été modifié,

PLÉES DE LA Cie P. L. M.



diamètres sont à l'intérieur, et les cylindres de détente, à



e des petits cylindres n'a pas été modifié,

mais celui des grands cylindres a été complètement remanié, de manière à rendre le mécanisme intérieur plus accessible. On a adopté la distribution Welschaërt.

Le changement de marche s'opère toujours par un mécanisme unique à contrepoids de vapeur, commandant à la fois les quatre distributions et établissant entre elles, pour tous les crans de marche, un rapport indépendant de la volonté du mécanicien.

avant de la machine est porté par un bogie qui diffère quelques détails de celui de 1892, et disposé de telle que les roues soient toujours également chargées.

nouvelles machines diffèrent, en dernier lieu, du type lent par un détail caractéristique, qui leur donne un t auquel le public n'était pas habitué, et qui leur a valu, part, le nom de « machine à bec ». Elles portent, en à l'avant, une sorte de proue coupante destinée à di-ier la résistance du milieu dans lequel elles se meuvent. même, l'abri du mécanicien, au lieu de présenter à l'avant surface plane perpendiculaire à la direction de la marche, disposé en forme de coin pour fendre l'air ; la cheminée, ôme et la sablière sont réunies dans une même enveloppe ninée à l'avant par une arête coupante.

vant que les machines express dont nous venons de parne soient mises en service, la Compagnie *Paris-Lyon-Méerranée* avait fait construire, en 1893, des machines comand d'un nouveau type à huit roues accouplées de 1m,50 de mètre, destinées à faire les trains de marchandises directs r la ligne principale de Paris à Marseille, ligne à profil sile et à fort trafic, et les trains de voyageurs et mixtes sur lignes à profil accidenté. La vitesse normale de ces maines est comprise entre 35 et 45 kilomètres à l'heure ; leur esse maximum est fixée à 65 kilomètres.

Ce nouveau type (*fig.* 126 et 127, Pl. V) dérive de celui des deux achines 3201 et 3202 construites, en 1888, et relatées plus ut. Comme toutes les machines compound de *Paris-Lyon-éditerranée*, elles sont à quatre cylindres actionnant deux sieux différents liés néanmoins par un accouplement, entre ux et avec les deux autres paires de roues. Les cylindres admetteurs sont à l'intérieur, et les cylindres de détente, à

l'extérieur des longerons. Les quatre distributions, du système Welschaërt, sont commandées par un appareil à vapeur, à cames, semblable à celui des express. Un robinet spécial permet au mécanicien d'envoyer, pour le démarrage, de la vapeur vive dans le réservoir intermédiaire, où la pression est limitée à 7 kilogrammes par une soupape de sûreté.

Les chaudières sont semblables à celles des locomotives express de 1892 ; elles sont à tubes Serve, à ailettes, à corps cylindrique très court et à boîte à fumée très longue.

Les machines 3201 et 3202 ont fait l'objet d'expériences comparatives conduites avec soin et dans des conditions assurant une rigueur aussi grande que possible des résultats, avec les machines à peu près semblables, mais non compound, 3108 et 3110. En comparant entre elles les consommations par tonne kilométrique, on a trouvé que les compound avaient, pendant une période de sept mois, fait preuve d'une économie de 13 0/0 pour les expériences 1, 2, 3 et 4, et de 15 0/0 pour les expériences 5, 6, 7 et 8, soit une moyenne de 14 0/0, par rapport à la machine non compound 3108. L'avantage n'aurait été que de 8 0/0 sur la machine non compound 3110. La moyenne des moyennes serait donc de 10 0/0.

En ce qui concerne les machines du dernier type nos 3211 à 3300, les consommations constatées en service courant permettent déjà de se former une idée assez précise de leur économie par rapport aux machines non compound n° 3001-3140. Le bénéfice réalisé aurait été très variable suivant les circonstances spéciales dominant sur les différentes sections du réseau, comme on le voit ci-dessous :

Économie en faveur des machines compound :

Au dépôt de Villeneuve-Saint-Georges....	11,83 0/0
— Dijon-Perrigny.....	14.71
— Lyon-Mouche	30.94
Moyenne.....	19,16

Les économies constatées à Villeneuve-Saint-Georges et à Dijon-Perrigny peuvent être considérées comme tout à fait normales ; celles constatées à Lyon-Mouche semblent excessives, ce que l'on doit vraisemblablement attribuer à ce que

la puissance des machines non compound 3001-3140 n'a pas été bien utilisée pendant la période considérée.

115. Compagnie de l'Ouest. — La Compagnie de l'*Ouest* est la première des grandes administrations qui aient, en France, mis en service une locomotive compound : c'était une machine Webb du petit type, achetée en Angleterre en 1884. Cette machine est depuis lors en service.

En 1894, la Compagnie de l'*Ouest* commanda à la *Société Alsacienne* deux locomotives ne différant des machines à bogie du dernier type de la Compagnie que par l'application qui leur a été faite du système compound à quatre cylindres et par le timbre, élevé de 11 à 14 kilogrammes.

Ces machines, étudiées et construites sous la haute direction de M. Clérault, ingénieur en chef du Matériel et de la Traction, sont puissantes, tout en présentant un poids modéré ; la disposition générale du mécanisme est semblable à celle des machines du *Nord* et du *Midi* décrites plus haut. La manœuvre du changement de marche a toutefois été modifiée et simplifiée, en laissant toute facilité pour rendre chacune des distributions indépendante. On a disposé deux vis bout à bout, une pour chaque arbre de relevage ; la vis située près du volant est creuse et laisse passer une tige prolongeant l'autre vis. Sur chacune des vis sont calées des roues dentées pouvant séparément ou simultanément engrener sur le volant de commande. Ce volant porte un encliquetage double manœuvré par une seule poignée mobile pouvant occuper trois positions. Dans la position horizontale, les deux vis sont solidaires du volant, et les deux marches sont manœuvrées à la fois. Lorsque la poignée est relevée vers le haut, la vis d'avant est dégagée, et le mécanicien manœuvre la distribution des cylindres à basse pression, sans que l'autre vis change de place. Lorsque la poignée est abaissée vers le bas, la vis d'arrière marche seule. Grâce à cet appareil, le mécanicien peut faire varier relativement les degrés de détente des deux distributions, et il peut notamment augmenter l'admission dans les grands cylindres, pratique reconnue avantageuse dans certains cas.

Ces locomotives présentent les dimensions principales suivantes:

Diamètre des cylindres HP	0m,32
— BP	0m,50
Course commune	0m,64
Timbre de la chaudière	14 kil.
Diamètre des roues accouplées	2m,04
Empattement total	7m,41
Surface de grille	2m2,00
— chauffe	141 ,90
Poids total à vide	43T,40
— en service	47 ,60

La même Compagnie emploie, pour l'exploitation de son réseau de Bretagne à voie de 1 mètre, sept locomotives articulées du système Mallet, dont nous parlons ailleurs.

116. Lignes diverses. — Sur les lignes diverses d'intérêt local, à voie normale ou à voie de largeur réduite, le système compound n'est représenté que par des machines Mallet à deux ou quatre cylindres.

Machines Mallet à deux cylindres. — On sait que M. A. Mallet, qui doit être considéré comme le véritable promoteur de la locomotive compound, est l'inventeur d'un dispositif de démarrage spécial non automatique, trop connu aujourd'hui pour que nous le décrivions ici et qui permet de faire varier à volonté et suivant les besoins, pendant toute la période nécessaire, l'effort de traction de la machine, le mécanicien ne revenant au fonctionnement compound qu'un temps appréciable après la période de démarrage et pouvant, sur les rampes, rétablir le fonctionnement à simple expansion.

Le système Mallet a été appliqué dès 1876 à trois locomotives du petit chemin de fer de Bayonne à Biarritz et, en 1878, à deux autres locomotives de la même ligne; les premières de ces machines sont à quatre, les secondes à six roues accouplées. Ces cinq locomotives, qui ont actuellement dix-huit ans et demi de service et ont parcouru 2.200.000 kilomètres, sont les plus anciennes machines compound qui soient en service régulier. Il y en a un plus grand nombre à l'étranger.

Machines Mallet à quatre cylindres. — Ce type de machine a été étudié par M. A. Mallet pour l'exploitation des lignes de chemin de fer à fortes rampes et à courbes de petit rayon, qui nécessitent, d'une part, des machines d'un poids total minimum pour un effort de traction aussi grand que possible et, d'autre part, ont besoin d'une certaine souplesse pour s'inscrire facilement dans les courbes. Ces deux conditions semblent s'exclure mutuellement, la première entraînant l'accouplement de tous les essieux, et la seconde, la réduction de l'empattement rigide et l'adoption de trucks articulés ou de bissels. M. Mallet, après beaucoup d'autres inventeurs, parmi lesquels MM. Fairlie et Meyer, a résolu le problème, mais d'une manière qui a donné des résultats manifestement supérieurs, qu'une expérience fort étendue a consacrés.

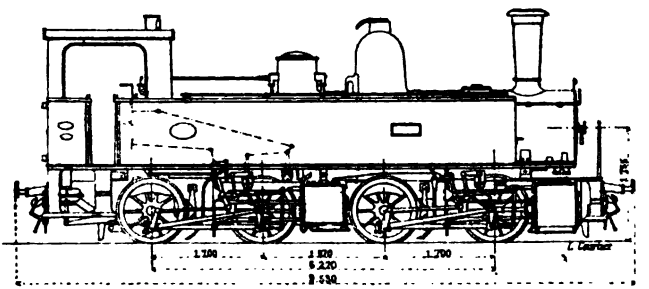


Fig. 128. — Machine articulée, système Mallet.

La machine articulée de M. A. Mallet (*fig.* 128) est portée par quatre essieux, dont deux sont fixes et solidaires du châssis ; les deux autres, faisant partie d'un bissel articulé, sont placés à l'avant. Les deux premiers sont accouplés entre eux et actionnés par deux cylindres à basse pression. Cette disposition offre l'avantage que la vapeur qui traverse la rotule servant au passage de la vapeur aux cylindres du bissel est à une pression inférieure à 4 ou 5 kilogrammes par centimètre carré, ce qui donne peu de chances de fuites.

L'avant de la machine repose sur des platines fixées au truck ; des ressorts latéraux, plus ou moins tendus suivant

la nature du service, combattent les mouvements de lacet.

Pour le démarrage, un tuyau spécial permet l'envoi de vapeur au réservoir qui alimente les cylindres à basse pression; une soupape de sûreté limite la pression dans ce réservoir.

Le tuyau d'arrivée de vapeur aux grands cylindres a son articulation dans le voisinage de la cheville du truck, laquelle est placée à l'arrière de ce dernier et ne coïncide pas avec elle, ce qui oblige à ménager un certain déplacement longitudinal relatif des deux fractions de ce tuyautage. On employait autrefois des garnitures remplacées maintenant par un soufflet métallique.

Un seul appareil de changement de marche commande simultanément les deux distributions; des articulations assez simples permettent le renvoi de la commande du relevage pour le mécanisme du truck mobile.

On a construit, suivant ce système, des machines de puissance et de poids très variés, depuis 12 tonnes (voie de 0m,60, Decauville) jusqu'à 85 tonnes (voie normale, chemin du *Gothard*).

Les *Chemins de fer départementaux* qui exploitent, en France, un certain nombre de lignes d'intérêt local à voie de 1 mètre, sont très satisfaits du fonctionnement des locomotives compound articulées, qui ont permis d'augmenter les charges remorquées et diminué, dans une notable proportion, la dépense de charbon par tonne kilométrique. On trouvera ci-dessous, à titre d'exemple, les dimensions principales des machines usitées par cette Compagnie.

Écartement des rails		1m,00
Diamètre des cylindres	H. P	0 ,250 (deux)
	B. P	0 ,380 (deux)
Course commune		0 ,460
Diamètre des roues		0 ,900
Empattement fixe		1 ,150
— total		4 ,000
Nombre des tubes		89
Longueur des tubes		3m,300
Surface de chauffe totale		41m².95
Surface de grille		0 .755

Poids en charge	truck avant	13T,30
	— arrière.....	11 ,40
	— total	24T,70
Effort de traction.....		4.070 kil.

Pour que le fonctionnement ait lieu dans des circonstances favorables et qu'il ne se produise pas de patinage alternatif des deux groupes d'essieux, les pressions moyennes sur les petits et les grands pistons doivent être dans le rapport de 3 à 1, le rapport des volumes des cylindres étant de 2,30 environ. Cette condition se trouve réalisée en service courant, ce rapport des pressions moyennes variant de 0,29 à 0,34, suivant le cran de marche, soit en moyenne 0,33.

Les machines compound articulées du système Mallet sont très usitées en France et dans les colonies françaises (*Chemins de fer départementaux*, *Économiques*, de l'*Hérault*, de l'*Ouest* (*réseau breton*), *Sud-de-la-France*, *Bône-Guelma*, *Mines de Rebao* (Tonkin), en Suisse (*Gothard*, *Central*), en Allemagne (*États badois*, *prussien*, *bavarois*), etc.

117. Conclusions. — De ce qui précède, on peut conclure que le mode compound se répand en France, surtout sous la forme de la machine à quatre cylindres, soit du type articulé de M. *Mallet*, pour les chemins de fer d'intérêt local à profil accidenté, soit, pour les grandes lignes, du type *Nord* ou *Paris-Lyon-Méditerranée*, dans lequel les cylindres actionnent deux par deux des essieux différents reliés néanmoins par des bielles d'accouplement.

Avec quatre cylindres agissant deux à deux sur des essieux différents, la puissance motrice se trouve divisée, ce qui réduit, dans une notable proportion, les échantillons des organes moteurs, la fatigue des essieux et celle de la voie, les perturbations se trouvant diminuées en proportion. Ainsi, pour ne parler que des surcharges de chaque roue sur le rail, l'emploi de quatre cylindres a permis de les réduire de 4.317 kilogrammes à 1.371 kilogrammes pour les machines express de *Paris-Lyon-Méditerranée*, à la vitesse de 70 kilomètres à l'heure.

La machine à quatre cylindres offre encore l'avantage de

présenter une symétrie parfaite, tant sous le rapport des poids ou la disposition des organes, que sous celui des efforts moteurs et des forces perturbatrices dues à l'inertie des pièces animées de mouvement alternatif.

Telles sont les principales considérations qui paraissent militer en faveur des machines à quatre cylindres. Celles-ci ont bien pour contre-partie une complication un peu plus grande et une légère augmentation du prix de revient, mais l'expérience actuelle semble prouver, en France du moins, qu'il n'en résulte pas d'augmentation sensible des frais d'entretien ou de graissage, par suite de la fatigue et de l'usure plus faibles que subissent les organes du mécanisme. En outre, il est bon de faire remarquer que la complication consiste ici seulement dans la multiplication d'organes assez simples en eux-mêmes et connus des mécaniciens, et non dans l'adoption de mécanismes nouveaux et délicats.

Quant au principe compound lui-même, il est encore à l'état expérimental pour les locomotives, et ses avantages économiques ne sont pas encore assez démontrés, dans tous les cas, pour imposer son adoption.

DEUXIÈME PARTIE

LE MATÉRIEL ROULANT

CHAPITRE PREMIER

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

118. Particularités du matériel roulant. — On comprend sous le nom de matériel roulant tous les véhicules de transport, non moteurs, qui sont appelés à composer les trains, tels que les *voitures à voyageurs*, les *wagons à marchandises*, les *fourgons* et quelques *véhicules spéciaux*. Le tender est considéré comme faisant partie de la machine. Ces différents véhicules présentent tous entre eux des caractères communs qui rapprochent leurs détails de construction et que nous allons examiner avant de passer à leur étude d'ensemble.

Le matériel roulant des chemins de fer diffère surtout des véhicules appelés à circuler sur les routes ordinaires par les conditions qu'impose son appropriation à la circulation sur des rails et à la formation de trains composés d'un nombre plus ou moins considérable d'unités.

Le matériel roulant des chemins de fer est caractérisé par:

1° Le diamètre égal des roues ;

2° Le calage de ces roues sur leurs essieux qui tournent avec elles et supportent la charge par l'intermédiaire de fusées et de boîtes à graisse extérieures ;

3° Le parallélisme des essieux. Cette définition est moins rigoureuse, car beaucoup de voitures et wagons, aux États-Unis surtout, sont montés sur des trucks articulés susceptibles de pivoter autour d'une cheville ouvrière ; mais, en tous cas, ces trucks comportent chacun deux ou trois essieux reliés d'une manière rigide ;

4° La disposition symétrique de toutes les parties du véhi-

cule lui permettant de se mouvoir indifféremment dans un sens ou dans l'autre. Les voitures et les wagons n'ont ni avant ni arrière ;

5° Le mode spécial d'attelage adopté pour relier entre eux les différents véhicules.

Le matériel roulant se compose, d'une part, des voitures et des véhicules de tout genre appelés à entrer dans la composition des trains de voyageurs, d'autre part, des wagons à marchandises et du matériel de transport en général.

119. Les **trois conditions essentielles** que l'on doit chercher à réaliser dans la construction des voitures de chemins de fer sont la *stabilité*, le *silence*, la *douceur du roulement*.

La stabilité, indépendamment des conditions d'établissement et d'entretien de la voie, provient de causes diverses, dont la plus importante, et de beaucoup, dépend de l'écartement des essieux. Toutes choses égales d'ailleurs, une voiture sera d'autant plus stable que son empattement, ou l'écartement extrême des essieux, sera plus grand, et que le porte-à-faux dans les bouts sera moindre. Malheureusement, les véhicules doivent être capables de s'inscrire dans des courbes, non pas seulement dans celles que l'on peut rencontrer sur les lignes du réseau, mais aussi dans les courbes des gares et des dépôts, etc., dont le rayon peut descendre jusqu'à 100 mètres. Cette condition limite l'écartement maximum des essieux et la longueur des caisses dans les voitures à essieux rigides. On a récemment atteint les cotes de $7^{m},20$ en France et de 8 mètres à l'étranger, qui paraissent des maxima, mais semblent suffisantes pour assurer une grande stabilité et permettre l'emploi de caisses de 10 à 12 mètres de longueur.

Quand on désire aller plus loin, on doit recourir à l'emploi des trucks articulés ou *bogies* qui permettent d'accroître l'empattement, tout en procurant la souplesse nécessaire pour le passage dans les courbes. Tout le matériel américain et une grande partie de celui de la *Compagnie Internationale des Wagons-Lits* sont montés sur des trucks articulés. Il en est de même pour beaucoup de voitures allemandes et pour la plupart des voitures anglaises de construction récente.

L'emploi du bogie n'implique en rien celui des caisses américaines ou à intercirculation. Il s'applique aussi bien aux voitures à compartiments séparés, auxquelles on donne simplement plus de longueur.

On obtient le *silence* par un serrage énergique de tous les organes constituant le châssis ou la caisse de la voiture, par un ajustage soigné des parties mobiles, des châssis à glace, etc., et en interposant, entre la caisse et le châssis, soit de petits ressorts héliçoïdaux, soit des bandes ou des rondelles de caoutchouc, qui diminuent beaucoup les trépidations et les chocs.

Quant à la *douceur du roulement*, elle dépend surtout de deux choses, de l'équilibre parfait des roues autour de leur essieu et de l'efficacité de la suspension. A l'imitation de ce qui a été fait tout d'abord au chemin de fer du *Nord*, les Compagnies françaises ont installé dans leurs ateliers de véritables appareils de précision qui permettent de relever le moindre balourd existant dans une roue montée et, par conséquent, d'y remédier. Si le centre de gravité de la roue ne coïncide pas parfaitement avec son centre géométrique, cette roue éprouve, en tournant, des perturbations qui tendent alternativement à la soulever et à l'appliquer sur le rail, ce qui entraîne des chocs périodiques constituant un des éléments principaux de la trépidation. Les roues à centres pleins, particulièrement les roues Mansell, sont plus faciles à équilibrer que les roues à rayons.

Le poids des deux roues fixées sur un même essieu doit aussi être rigoureusement le même, afin que l'essieu n'ait pas de tendance à dévier. Le diamètre de ces roues sera identique, pour une raison du même ordre. Enfin, les roues devront être parfaitement circulaires et ne présenter latéralement aucun faux rond. On conçoit qu'une roue légèrement ovale communiquerait, dans le mouvement rotatif, des secousses incessantes à la voiture.

Les ressorts, dont le rôle est de combattre l'effet perturbateur des inégalités de la voie parcourue et d'empêcher la transmission au châssis, puis à la caisse, des mouvements qu'elles impriment aux roues ont, au point de vue que nous considérons actuellement, une très grande importance.

En aucun pays, la fabrication et l'étude des ressorts n'ont été plus perfectionnées et poussées plus loin que chez nous; les voitures de première classe de quelques-unes de nos grandes lignes sont les mieux suspendues qui soient; nous oserions presque dire qu'elles pèchent plutôt par excès d'élasticité et qu'elles prennent souvent, et aux grandes vitesses, des ondulations et des balancements désagréables pour le voyageur.

Du reste, la question de suspension perd de son importance à mesure que les voies s'améliorent; il est naturel que, les causes de perturbation diminuant, les moyens destinés à en atténuer l'effet n'offrent plus le même intérêt.

L'emploi du truck américain, ou bogie, permet, avec des ressorts d'une flexibilité assez faible, d'obtenir une douceur de roulement supérieure. Ils ont un effet beaucoup plus marqué que les ressorts les plus flexibles, sans offrir les mêmes inconvénients, consistant dans un excès de balancement. Dans le bogie à six roues, le pivot et, par conséquent, la caisse ne sont soulevés que du sixième de la quantité dont chacune des roues l'est elle-même par une dénivellation du rail. Cet appareil a donc pour effet de réduire l'amplitude des oscillations et d'en augmenter le nombre; il remplace les chocs, assez violents et espacés, que l'on ressentirait sur une mauvaise voie avec une voiture à deux essieux, par une série de trépidations à peine perceptibles, mais nombreuses.

Le bogie offre donc un moyen d'améliorer à la fois la stabilité et la douceur du roulement, tout en facilitant le passage en courbes. Il est de plus en plus usité à l'étranger. En France, on lui reproche encore d'être coûteux et d'accroître le poids des voitures.

Un autre élément de stabilité et de bon roulement pour les véhicules de chemins de fer, c'est leur poids. En principe, plus une voiture est lourde, et plus son roulement sera doux et régulier. Une caisse lourde présente, en effet, une inertie considérable qui ne saurait être vaincue facilement par les oscillations verticales des essieux dues aux dénivellations de la voie passées en vitesse, oscillations qui se produisent très brusquement et sont de courte durée.

C'est là un avantage des très grandes voitures, qui offrent un poids total considérable, indépendamment de leur poids

relatif au nombre de voyageurs transportés, ou *poids mort*. Si l'on a avantage à accroître le poids mort pour adoucir le roulement et augmenter le confort des voyageurs, on a, d'autre part, intérêt à le diminuer autant que possible, afin de ne pas accroître outre mesure l'effort de traction et permettre d'atteindre de grandes vitesses. Il existe un dilemme d'où l'on ne peut sortir: ou accroître le confort, par conséquent le poids, et réduire la vitesse ou augmenter la vitesse et réduire le poids. Il y a un juste milieu à garder, qui paraît atteint dans le nouveau matériel à couloir des Compagnies françaises et étrangères. On y trouve un confort qui peut satisfaire les plus difficiles, et cependant le poids de ces véhicules n'est pas incompatible avec les grandes vitesses.

120. Dimensions principales des voitures. — L'empattement des voitures à essieux rigides employées en France varie depuis 3 mètres pour les anciennes voitures à trois compartiments, jusqu'à $7^m,20$, pour les voitures à quatre compartiments et à couloir, qu'elles aient quatre roues, comme celles de l'*Orléans*, ou six roues, comme celles de *Paris-Lyon-Méditerranée*. Les premières classes à quatre compartiments sans couloir ni water-closet, qui forment encore le fond du matériel français à grande vitesse, est de $3^m,50$ en moyenne.

La longueur totale des plus petites voitures encore en service, mesurée hors tampons, est de $6^m,40$; la longueur des véhicules ordinaires à quatre compartiments est de 10 mètres environ. Les nouvelles voitures de la Compagnie d'*Orléans* ont environ $12^m,70$, et celles de *Paris-Lyon-Méditerranée*, $12^m,20$ de longueur totale.

Certaines voitures anglaises à bogie ont jusqu'à 19 et 20 mètres, et les derniers Pullman américains, 22 mètres.

En France, les caisses des voitures de première classe des derniers modèles ont une largeur maximum à la ceinture de $2^m,90$ quand elles comportent des portières latérales, et de $3^m,10$ quand elles sont à plate-forme avec entrée par les bouts.

La hauteur intérieure des compartiments au milieu, qui ne dépassait pas $1^m,90$ il y a une vingtaine d'années, atteint aujourd'hui $2^m,20$ à $2^m,30$ dans les nouvelles voitures à couloir de première classe. La hauteur intérieure des secondes et troi-

sièmes classes modernes est dans le voisinage de 2 mètres.

En Angleterre, on donne aux voitures de toutes classes une même hauteur intérieure, ce qui résulte, d'ailleurs, de l'emploi général des voitures mixtes. Cette hauteur atteint ordinairement $2^m,15$ à $2^m,25$, exceptionnellement $2^m,35$ et, enfin, $2^m,50$ dans les voitures munies d'un lanterneau au milieu.

Les nouvelles voitures mixtes des chemins de fer hollandais ont une hauteur intérieure au milieu de $2^m,25$. C'est la cote adoptée en Allemagne pour le matériel neuf.

Aux États-Unis, la hauteur dans les voitures, qui sont toujours munies de lanterneaux, atteint presque 3 mètres au milieu.

121. **Poids.** — Les anciennes voitures de première classe à trois compartiments pesaient environ 8 tonnes et présentaient un poids mort de 330 kilogrammes par voyageur. Les nouvelles voitures à couloir pèsent jusqu'à 16 tonnes avec un poids mort de 644 kilogrammes. Entre ces deux extrêmes se placent les voitures à quatre compartiments sans couloir ni water-closet des types *Orléans* et *Nord*, dont les premières offraient un poids total de 11 ,50 et un poids mort de 360 kilogrammes par voyageur.

Les voitures anglaises pèsent de 12 à 16 tonnes, quand elles sont à six roues, et de 18 à 28 tonnes, quand elles sont à bogies.

Les voitures américaines ordinaires pèsent de 30 à 35 tonnes. Les *sleepings Pullman* offrent des poids de 40 à 45 tonnes et, exceptionnellement, de 50 tonnes. Le poids mort y varie de 1.500 à 2.000 kilogrammes par voyageur.

122. Les **voitures de chemins de fer** peuvent se classer d'après la destination à laquelle elles sont affectées, d'après le nombre et la disposition intérieure de leurs caisses.

Ainsi, on distingue les voitures de *grande ligne* ou de *banlieue*, de première, deuxième ou troisième *classe;* les *voitures mixtes;* les voitures à *deux*, *trois* ou *quatre essieux*, avec ou sans *bogies;* les voitures à *compartiments séparés;* les voitures à *compartiments avec couloir* et les voitures à *intercirculation;* les voitures avec ou sans *impériale*.

123. Nombre et disposition des essieux. — Les anciennes voitures, de faible longueur, étaient toujours à quatre roues présentant un empattement qui n'atteignait pas toujours 3 mètres. Quand, dans la suite, on augmenta le poids et la longueur des voitures, on accrut, dans beaucoup de pays, le nombre des essieux, que l'on porta souvent à trois et quelquefois à quatre. En France, la voiture à quatre roues est restée en faveur, malgré l'accroissement du poids des caisses, sauf à la Compagnie de *Paris-Lyon-Méditerranée*, qui n'emploie pour ainsi dire que des véhicules à six roues. On a atteint, sur les réseaux français, l'empattement de $7^{m},20$ avec des charges de 6 à 7 tonnes par paire de roues.

Dans la plupart des autres pays, on préfère accroître le nombre des essieux et diminuer leur charge et leur grosseur. En Angleterre, toutes les voitures qui ne sont pas à bogie sont portées par trois essieux. Il en est de même en Russie et dans une grande partie de l'Allemagne.

La voiture à bogie se répand de plus en plus. Nous avons insisté plus haut sur les avantages que présentait le truck articulé et sur les raisons qui justifiaient son emploi ; nous n'avons pas à y revenir ici. Aux États-Unis, tout le matériel, aussi bien à marchandises qu'à voyageurs, est monté sur des trucks articulés, à quatre roues pour les wagons et les voitures ordinaires, à six roues pour les sleepings et les voitures de luxe. Plusieurs Compagnies anglaises en construisent plus que des voitures à bogies pour le service des voyageurs.

124. Voitures à compartiments séparés et voitures à intercirculation. — Tout le matériel européen primitif, pour lequel la diligence a servi de point de départ, était à compartiments séparés. Ce type, qui domine encore et de beaucoup, ne paraît pas près de disparaître ; il présente, en effet, bien des avantages et répond au besoin d'isolement dont la plupart des voyageurs européens sont animés. La promiscuité des grandes voitures américaines paraîtrait fort déplaisante dans beaucoup de pays.

Le principal inconvénient des compartiments indépendants consiste dans l'impossibilité où sont les voyageurs de se déplacer et dans l'absence de lavabos et de water-closets. Cette

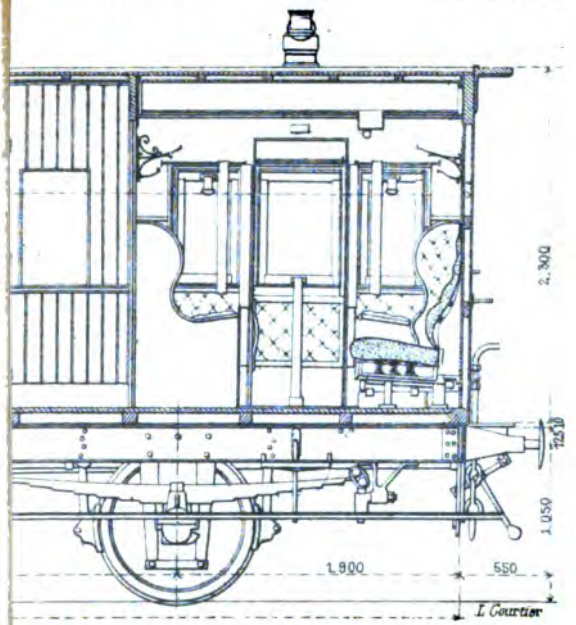
lacune est dès maintenant comblée dans les nouvelles voitures construites pour les Compagnies françaises et étrangères en vue du service des trains rapides à arrêts espacés. Ces véhicules, dits à *couloir*, réunissent les avantages des voitures américaines et européennes sans en avoir les inconvénients. Le voyageur peut presque aussi bien qu'autrefois s'isoler dans son compartiment; il peut, d'autre part, s'il le désire, renoncer à cet isolement et changer de place.

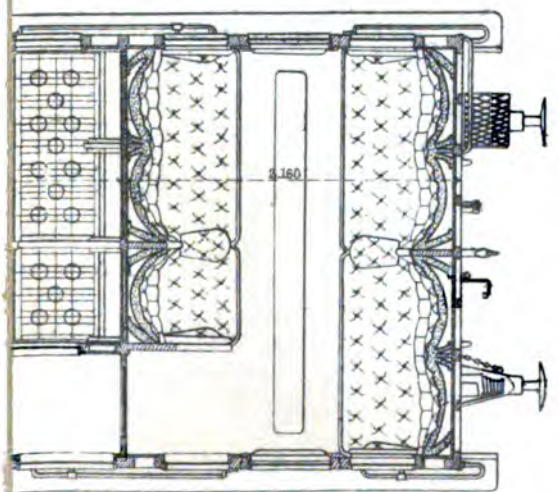
Le type qui a prévalu en France est le type à couloir latéral, desservant les compartiments et communiquant à une extrémité, avec un lavabo-water-closet. L'accès de la voiture se fait latéralement comme d'ordinaire.

Nous donnons, à titre d'exemple (*fig.* 129 et 130, Pl. VI), une vue extérieure, une coupe et un plan de la nouvelle voiture de première classe à couloir de la Compagnie de l'*Ouest*, qui présente un écartement d'essieux de $5^{m},90$, une longueur totale de caisse de $9^{m},78$ et un poids de $12^{T},7$ à vide. Cette voiture renferme deux compartiments à six places et deux compartiments à sept places, soit en tout vingt-six places. Les deux compartiments du milieu sont séparés par un water-closet-lavabo de $0^{m},836$ de largeur. La hauteur extérieure de la caisse est de $2^{m},30$.

La Compagnie d'*Orléans*, pour ses voitures à couloir, a adopté l'accès par bouts; elle a, d'ailleurs, comme celle de *Paris-Lyon-Méditerranée*, été plus loin, en établissant pour ses trains rapides un matériel à intercirculation grâce auquel on peut circuler à couvert d'un bout à l'autre du train et accéder, en cours de route, soit au wagon-restaurant, quand il y en a un, soit aux water-closets. Les couloirs débouchent dans les bouts, au milieu; on communique d'une voiture à l'autre à l'aide d'une petite passerelle, couverte par un soufflet en cuir, qui protège les voyageurs du vent et de la poussière, tout en se prêtant aux mouvements relatifs des véhicules.

Dans le système dit américain, les caisses sont disposées à peu près comme celles des voitures de tramways, sans cloisons ni compartimentage, si ce n'est pour les lavabos. Les sièges, à carcasse métallique, sont boulonnés sur le plancher de part et d'autre d'un couloir central qui se prolonge sur toute la longueur du train, à l'aide de plates-formes protégées,





UNIV. OF

dans les trains express dits « vestibulés », par des cloisons munies de portes vitrées que raccordent des soufflets. On circule d'un bout à l'autre du train.

Le matériel suisse est établi suivant des principes analogues, mais la présence, dans le même train et souvent dans la même voiture, de voyageurs de classes différentes entraîne l'adoption de cloisons et de compartiments moins nombreux toutefois que dans nos voitures.

Dans ces voitures, l'accès se fait par les bouts, à l'aide d'un emmarchement, d'une plate-forme et d'une porte placée sur la face de la voiture, à chaque bout.

125. Voitures des différentes classes. — Tous les chemins de fer de l'Europe emploient des voitures appartenant à deux, trois ou quatre classes. En France, les trois classes sont réglementaires; mais, sur ses lignes de banlieue, la Compagnie de l'*Ouest* a supprimé les troisièmes.

En Angleterre, la plupart des grandes Compagnies, au contraire, ont supprimé les secondes classes, au moins sur la grande ligne. Leurs trains ne comprennent plus que des premières et des troisièmes; celles-ci, il est vrai, sont rembourrées et comportent des baies de côté.

Dans certaines régions de l'Allemagne, on trouve des voitures d'une quatrième classe.

La voiture *mixte*, c'est-à-dire comprenant des compartiments appartenant à deux ou trois classes différentes, s'est beaucoup répandue depuis quelques années, particulièrement, en France, sur le réseau de l'*Ouest*. En Angleterre, où les troisièmes sont admises dans tous les express, ces voitures sont d'un emploi général. Les voitures mixtes permettent de mieux proportionner la répartition des différentes classes aux besoins. Ainsi, sur les lignes d'embranchement une voiture entière de première, surtout avec la grande longueur et la contenance des véhicules modernes à quatre ou six compartiments, présente une contenance excessive entraînant une mauvaise utilisation du matériel. Il suffit d'un ou de deux compartiments de première classe, de deux ou trois compartiments de deuxième, alors qu'il en faudra par exemple sept à dix de troisième classe.

Les anciennes voitures françaises de première classe étaient à trois compartiments de huit places; les nouvelles ont généralement quatre compartiments et sont souvent à couloir permettant l'accès d'un water-closet placé au milieu ou dans les bouts. Beaucoup de voitures sont à deux compartiments de première avec coupés dans les bouts.

Les voitures de deuxième classe ont de quatre à six compartiments, et les voitures de troisième classe de cinq à sept compartiments.

126. Voitures de banlieue. — Le matériel ordinaire des grandes lignes peut convenir au service de la banlieue, mais la plupart des Compagnies emploient un matériel spécial qui leur semble mieux approprié. En France, les Compagnies de l'*Ouest* et de l'*Est* ont établi pour cet usage les voitures à impériale qui ont l'avantage de présenter un faible poids mort et d'offrir un grand nombre de places, ce qui permet de faire face aux exigences du trafic les dimanches et jours de fête. Ces voitures conviennent pour les petits trajets seulement; les compartiments y sont très bas. On peut, en outre, leur reprocher de ne pas se prêter à la montée et à la descente rapides des voyageurs dans les gares, ce qui peut accroître la durée du stationnement.

En été, le public parisien préfère les impériales découvertes, qui ne peuvent servir qu'une partie de l'année. La Compagnie de l'*Est* a préféré depuis longtemps l'impériale fermée qui peut être utilisée en toute saison, mais ne présente plus que l'avantage de diminuer le poids mort; la sortie des voyageurs en est lente et, l'été, on n'y jouit pas plus du grand air que dans les autres voitures; on y est même un peu moins bien, à cause de la faible hauteur des compartiments.

En Angleterre, où les services de banlieue sont plus développés qu'en tout autre pays, on n'a jamais employé de voitures à impériale ; il est vrai que le gabarit est un peu moins haut que chez nous.

Les Anglais tiennent avant tout, dans les services urbains, à diminuer la durée des stationnements et à faciliter aux voyageurs l'entrée et la sortie des voitures.

A cet effet, la partie supérieure des quais se trouve à la même hauteur que le marchepied supérieur, ce qui facilite certainement les mouvements des voyageurs. Les voitures anglaises de banlieue sont accouplées entre elles par un attelage central particulier qui ne laisse entre les véhicules consécutifs qu'un espace très faible, ce qui diminue la longueur des trains.

127. Voitures de luxe. — Indépendamment des véhicules spéciaux étudiés, construits et exploités par les Compagnies, tels par exemple que les voitures à *compartiments-lits*, à *lits-toilettes*, à *coupés-lits*, mis à la disposition du public dans certains trains de nuit, moyennant des suppléments plus ou moins élevés, il circule, depuis quelques années, sur des grandes lignes, des véhicules spéciaux de luxe, entrant dans la composition des trains express ordinaires, ou des trains spéciaux de luxe, comme par exemple le *Sud-Express*. Ces voitures, appartenant à la *Société Internationale des Wagons-Lits*, sont ordinairement montées sur trucks et établies suivant les types américains, dont elles diffèrent surtout par leurs dimensions, qui sont notablement moindres. Ces véhicules sont surtout les *wagons-restaurants*, les *wagons-lits* et les *wagons-salons*.

C'est en Amérique, où la durée des voyages peut être considérable — on met environ cinq jours en express, pour aller de New-York à San-Francisco — que le wagon-lit a pris naissance sous l'impulsion de M. Pullman, devenu depuis le plus fameux constructeur de ces véhicules. Le type courant de sleeping adopté par M. Pullman depuis une dizaine d'années est représenté en plan et en élévation (*fig.* 131 et 132). La plus grande partie de la caisse, au milieu, est occupée par une dizaine de sièges se faisant face deux à deux et coupés au milieu par le couloir ; chaque siège représente une place. L'espace occupé par les deux banquettes en vis-à-vis s'appelle une *section ;* le supplément assez faible payé à la Compagnie propriétaire du sleeping donne droit à une de ces places ; en payant le double, on a droit aux deux sièges et aux deux couchettes de chaque section.

La nuit, on dispose deux couchettes en long : l'une repose

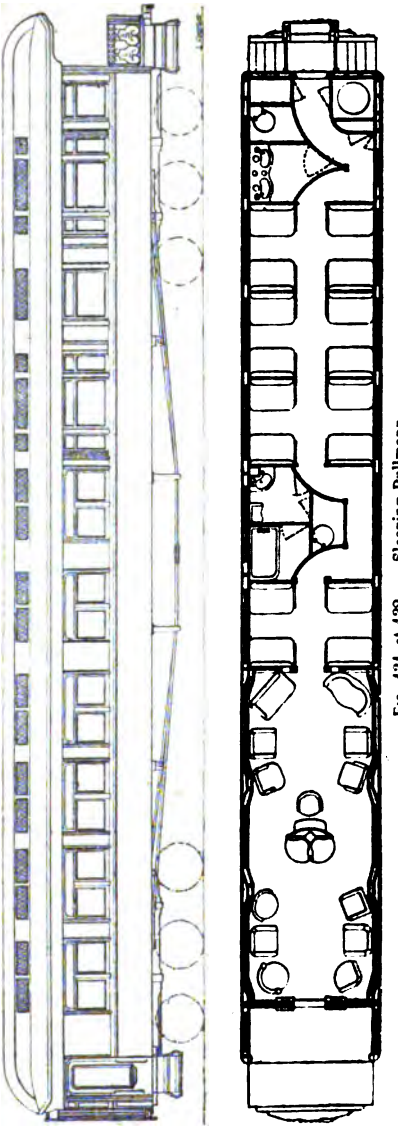


FIG. 131 et 132. — Sleeping Pullmann.

par ses extrémités sur les banquettes de chaque section, l'autre est placée au-dessus. Dans le jour, la couchette supérieure est relevée et se trouve masquée par son fond, en bois verni, qui continue en apparence la paroi intérieure de la voiture. La couchette inférieure et les objets de couchage sont rangés dans l'espace compris entre cette couchette et le pavillon de la voiture.

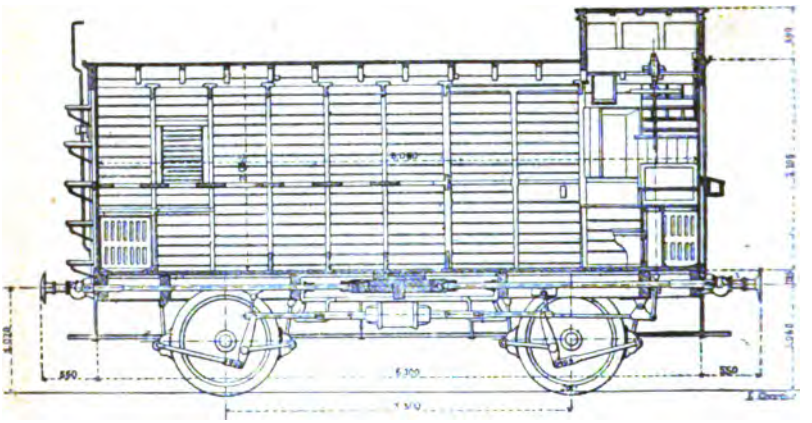
Le nombre des sections varie de dix à douze.

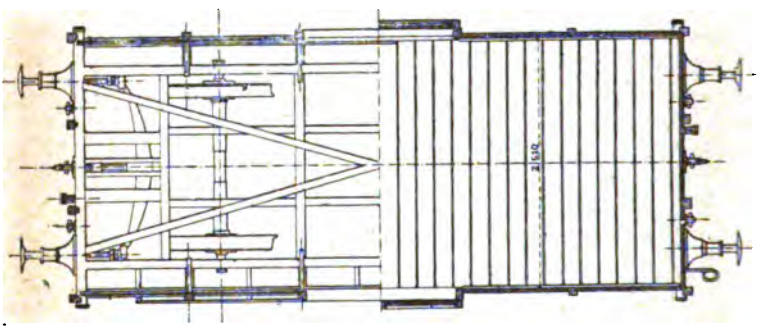
La plupart des sleepings comprennent, en outre, dans les bouts, des salons particuliers comportant chacun deux ou trois couchettes et un lavabo, deux lavabos avec water-closets et souvent un compartiment pour les fumeurs.

On trouve sur les lignes des États-Unis des wagons-salons que l'on n'attelle qu'aux trains de jour et dont l'admission ne coûte ordinairement que 5 francs en sus du prix de la place ordinaire. La caisse est disposée comme plus haut, mais les banquettes sont remplacées par des fauteuils disposés sur deux rangées le long des parois extérieures de la voiture. Ces fauteuils sont boulonnés sur le plancher du wagon et ne peuvent être déplacés; ils sont toutefois à siège tournant et souvent à bascule. Ces voitures comportent, en outre, un petit compartiment pour les fumeurs et deux lavabos.

La décoration intérieure de ces grandes voitures américaines est traitée avec une recherche excessive. Ce n'est même plus, dans les voitures de construction récente, une décoration industrielle et banale, mais une décoration artistique et de style. Le style Empire est fort en faveur depuis quelques années; c'est celui, d'ailleurs, qui, grâce à ses lignes droites et à ses demi-cercles, se prête le mieux à ce genre d'application. L'étoffe n'apparaît que sur les sièges ou les dossiers et sous forme de rideaux ou de portières. Les cloisons, portes, trumeaux, plafonds, etc., sont en bois apparent et verni. Les essences les plus employées sont l'acajou, l'érable, le noyer circassien, le vieux chêne. Ces panneaux sont décorés par des rinceaux et autres ornements en bois sculpté.

Les *sleepings-cars* de la *Compagnie Internationale des Wagons-Lits* sont moins luxueux et moins riches, mais ils





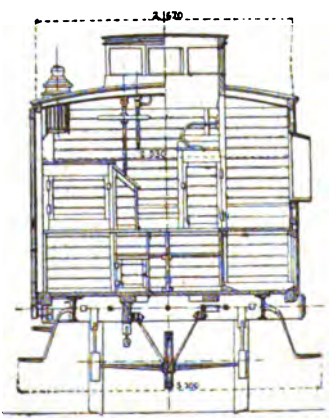


Fig. 133 à 135. — Fourgon type *Ouest*.

sont mieux disposés en vue des goûts du public européen, qui préfère un certain isolement et ne se ferait guère à la promiscuité régnant dans les voitures américaines, même de luxe. Les sleepings européens sont divisés par des cloisons transversales en un certain nombre de compartiments, ordinairement huit, contenant chacun deux couchettes.

Dans les *voitures-restaurants*, la caisse est divisée en trois parties : la cuisine et l'office sont à une extrémité ; au milieu, se trouve la salle à manger proprement dite ; et à l'autre bout, la partie réservée aux fumeurs. Les tables sont disposées transversalement sur deux rangées séparées par le passage de communication. Chacune de ces tables peut, d'un côté du couloir, recevoir quatre voyageurs (deux de chaque côté), et, de l'autre, deux seulement.

Ces voitures, qui s'attellent en France aux principaux express de jour, ont permis de supprimer les arrêts de vingt à vingt-cinq minutes autrefois nécessaires pour permettre aux voyageurs de prendre leurs repas dans les buffets.

Dans les trains de grand parcours à intercirculation, comme les rapides de *Paris-Lyon-Méditerranée* et de l'*Orléans*, on peut accéder en route au wagon-restaurant.

128. Véhicules spéciaux s'attelant aux trains de voyageurs. — Tous les trains de voyageurs comportent des *fourgons* placés l'un en tête et l'autre en queue, et qui n'ont pas seulement pour but de recevoir les bagages des voyageurs : leur présence est exigée par les règlements, ces véhicules étant considérés comme devant servir de protection aux trains en cas de collision.

Les fourgons sont moins bien suspendus que les voitures, mais ils comportent les mêmes appareils de choc et de traction et, quand ils sont destinés aux trains de voyageurs, portent le frein continu. Ils se composent d'un châssis qui n'offre aucune particularité et d'une caisse, sans *galbe*, ne comportant aucune cloison intérieure, qui sert à arrimer les bagages. Les portes sont à coulisse et assez vastes pour permettre la facile manutention des colis.

La plupart des fourgons comportent des vigies d'où le conducteur peut voir la machine et le train.

Nous donnons, comme exemple, le fourgon du type le plus usité sur les lignes de l'*Ouest;* il est léger et maniable (*fig.* 133 à 135). Ce véhicule, porté par quatre roues, pèse $7^{T},5$ à vide et peut recevoir un chargement de 5 tonnes. Il comporte à une extrémité une vigie avec sièges et caissons pour le conducteur et, à l'autre bout, deux niches à chien avec porte à claire-voie à gauche et à droite.

Par le travers des vigies, on a placé au dehors de petites glaces obliques qui permettent au conducteur, sans se déplacer, de voir le train d'un bout à l'autre, ce qui facilite sa surveillance et lui permet, par exemple, de se rendre compte qu'aucune partie du train ne s'est détachée par suite d'une rupture d'attelage ou qu'aucune portière n'est restée ouverte.

Ce fourgon est muni du frein Westinghouse ; le volant de manœuvre du frein à main est placé horizontalement près du siège du conducteur, ainsi que le robinet de commande du frein continu que le conducteur peut et doit appliquer en cas d'urgence.

La Compagnie d'*Orléans* emploie, pour ses express, des fourgons, également à quatre roues, qui ont une longueur totale de $9^{m},97$ et présentent un écartement d'essieux de $5^{m},55$. Ces fourgons pèsent 11 tonnes à vide et peuvent charger 6 tonnes.

Pour les trains non munis de freins continus, on emploie souvent des fourgons *lestés*, c'est-à-dire artificiellement chargés d'un lest en fonte, placé sous le plancher, et qui a pour but d'augmenter l'effet du frein.

Les autres véhicules qui peuvent entrer dans la composition des trains de voyageurs sont les *bureaux ambulants* de la poste, les *wagons à messagerie*, les *wagons-écurie*, *à lait*, etc...

129. Les **wagons servant au transport des marchandises** comportent, en ce qui concerne leur châssis, des organes analogues à ceux des voitures, mais plus robustes, plus simples, moins dispendieux. Ce matériel ne peut être l'objet des mêmes soins que le matériel à voyageurs : il est manœuvré plus brutalement et est nécessairement moins surveillé. Il entre, en outre, dans l'effectif pour un nombre

beaucoup plus considérable, et il importe de réduire autant que possible le capital qu'il représente.

En France, l'immense majorité des wagons, d'un chargement moyen de 10 à 12 tonnes, est à quatre roues; seuls, certains véhicules spéciaux sont à six roues ou à trucks articulés.

Aux États-Unis, les véhicules destinés au transport des marchandises sont beaucoup plus grands et peuvent charger jusqu'à 30 tonnes; ils sont tous montés sur des trucks.

Malgré leur diversité, les wagons usités en France peuvent se rattacher à trois types principaux : les *wagons couverts*, les *wagons-tombereaux* et les *wagons plats*.

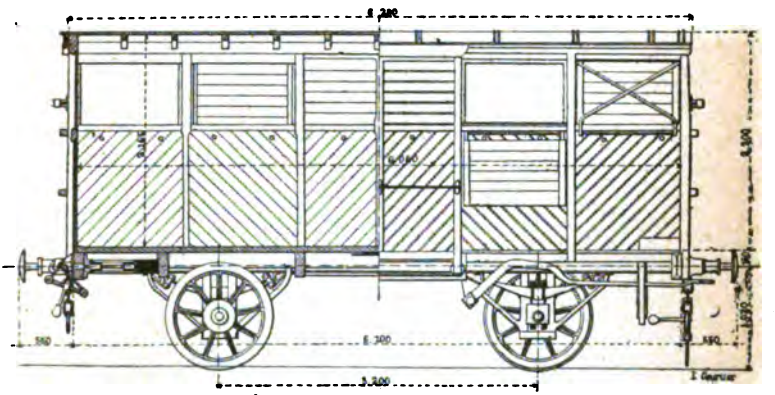


Fig. 136. — Wagon couvert.

Les *wagons couverts* (*fig.* 136) sont analogues à ceux qui servent pour les messageries ; la fermeture de la caisse se fait comme celle des fourgons, au moyen de portes roulantes. La caisse se fait en bois ; cependant la Compagnie de l'*Ouest*, nous le disons ailleurs, a mis en service des wagons de messagerie à ossature métallique. Ces wagons couverts servent au transport des marchandises de valeur, généralement emballées et craignant les intempéries.

Les *wagons à bestiaux* ne diffèrent des précédents que par l'addition qui leur est faite, à la partie haute, de grands

volets à rabattement, qui peuvent permettre une ventilation suffisante.

Les *wagons-tombereaux* sont utilisés pour le transport des houilles, du coke, des minéraux et matériaux de construction, ainsi que des liquides en fûts. Ils reçoivent souvent aussi

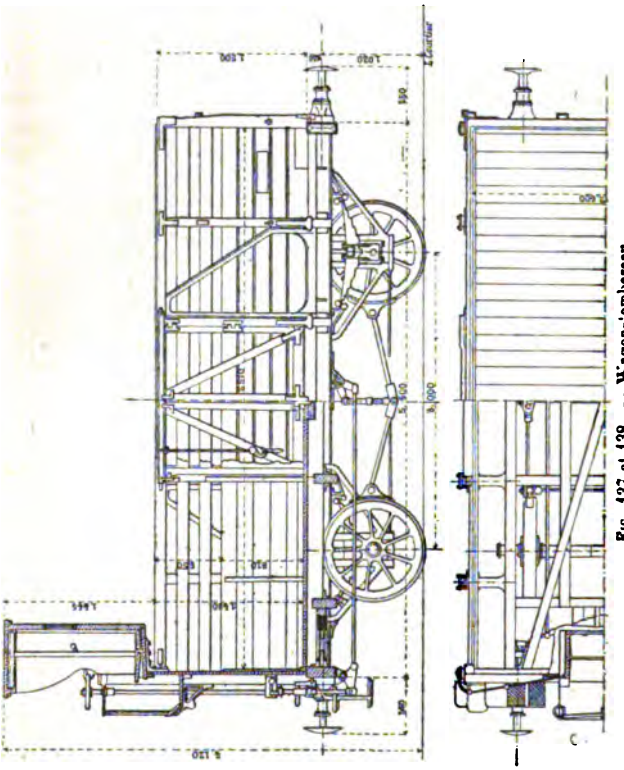


Fig. 137 et 138. — Wagon-tombereau.

des marchandises de valeur, que l'on abrite à l'aide d'une bâche. Ces wagons ont sur les précédents l'avantage de se prêter facilement au chargement et au déchargement par des grues, exigeant moins de main-d'œuvre que les mêmes opérations effectuées à bras d'hommes dans les wagons cou-

verts. En Angleterre, l'usage des wagons couverts est restreint, par suite de ces considérations économiques.

En France, les wagons couverts sont aménagés pour le transport des troupes en temps de guerre ; leur effectif, très élevé, vient donc en aide au matériel insuffisant des voiture

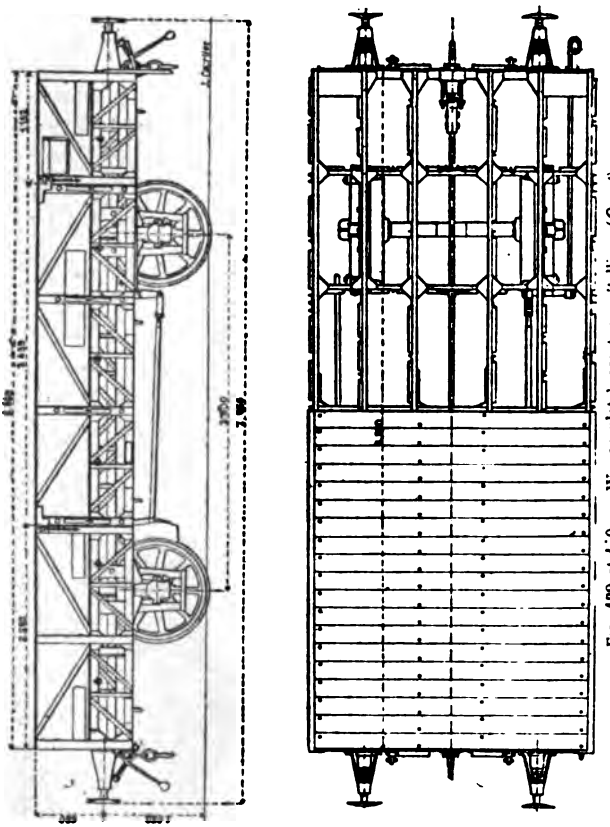


Fig. 139 et 140. — Wagon plat à ossature métallique (*Ouest*).

à voyageurs; ceci explique la présence d'un matériel peu économique, mais indispensable sur les lignes françaises et allemandes.

On trouvera (*fig.* 137 et 139) un exemple de wagon-tombereau à frein pouvant prendre un chargement de 10 tonnes et pesant, à vide, 6T,8. Ce véhicule est muni, en son milieu, de chaque côté, d'une porte à deux battants à charnières, permettant le chargement ou le déchargement des marchandises qui ne sont pas manutentionnées par des grues et sont roulées sur les quais, surélevés, des gares à marchandises.

Les *wagons plats*, ou *plates-formes*, se composent d'une simple plate-forme munie d'un rebord de 0m,300 à 0m,500 de hauteur, qui peut être fixe ou mobile. Dans ce dernier cas, le wagon est dit à *bords tombants* ou à *bouts rabattants*. Ces véhicules servent surtout au transport des liquides en fûts, des organes de machines et des pierres de taille. Sur le réseau de l'*Ouest*, et sur quelques autres, les wagons plats portent avec eux deux prolonges et une bâche.

Nous donnons dans les figures 139 et 140 une vue du nouveau wagon plat à ossature métallique de la Compagnie de

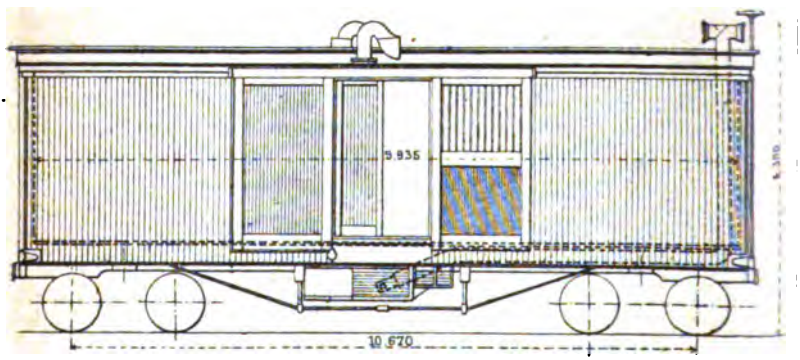


Fig. 141. — Wagon couvert américain.

l'*Ouest*, dont la tare est de 7 tonnes et qui peut charger 12 tonnes.

L'effectif des Compagnies comprend encore quelques véhicules spéciaux, tels que les *wagons à rails*, qui ne diffèrent des wagons plats que par l'addition, sur leur plate-forme, de traverses en saillie qui la consolident et permettent l'arrimage et la manutention des rails. Les *wagons à bois* sont des

wagons plats dont la plate-forme porte en son centre un plateau articulé sur une cheville ouvrière et qui reçoit la charge, laquelle est maintenue latéralement par des montants ou des ranchers et des chaînes. Les madriers ou bois en grume reposent par leurs extrémités sur les plateaux mobiles de deux véhicules semblables attelés ensemble et reliés par une flèche d'accouplement. S'ils ont une grande longueur, on peut interposer entre eux un troisième wagon plat (*wagon de raccordement*) qui ne porte aucune charge et ne sert qu'à maintenir l'écartement.

Citons encore les *wagons-glacières*, pour le transport des viandes fraîches, employés surtout en Amérique; les *wagons-citernes*, pour le transport en vrac des pétroles, goudrons, alcools, etc.

On sait que, depuis la dernière guerre, tous les wagons couverts à marchandises doivent pouvoir s'aménager rapidement pour le transport des troupes et de la cavalerie. On leur ajoute à cet effet des bancs spéciaux conservés dans les magasins en temps de paix.

On trouvera sur la figure 140 le schéma d'un wagon couvert américain à grande capacité, pouvant porter 30 tonnes. La caisse repose sur deux trucks articulés. Le poids du véhicule, à vide, est de 14 tonnes.

130. **Éclairage des voitures.** — On emploie pour l'éclairage des voitures l'huile, le pétrole, le gaz comprimé et l'électricité. L'usage de cette dernière est encore fort peu répandu, malgré de nombreux essais effectués sur une assez grande échelle, en Angleterre et aux États-Unis notamment.

La plupart des voitures françaises sont encore éclairées à l'*huile de colza*. Le réservoir d'huile de ces lampes a ordinairement la forme d'un tore à section triangulaire dont l'orifice de remplissage est fermé par un bouchon à vis. La mèche est placée plus bas que le niveau de l'huile qui lui arrive par un conduit sur lequel est placé un robinet fermé lorsque la lampe n'est pas allumée. Lorsque le robinet est ouvert, l'huile ne peut s'écouler du réservoir qu'au fur et à mesure de la pénétration de bulles d'air par le conduit d'écoulement dont la section est réglée en vue d'assurer la

meilleure régularité de l'éclairage. Les anciennes mèches étaient plates.

Ces lampes avaient de nombreux inconvénients; elles ne donnaient qu'un éclairage insuffisant et se trouvaient sujettes à des fuites d'huile venant remplir la coupe en cristal qui la sépare du compartiment.

MM. *Lafaurie* et *Potel* ont beaucoup perfectionné l'éclairage à l'huile et créé une lampe dite sans verre cheminée, qui est employée d'une manière générale sur le réseau de l'*Ouest* et plusieurs autres (*fig.* 142.)

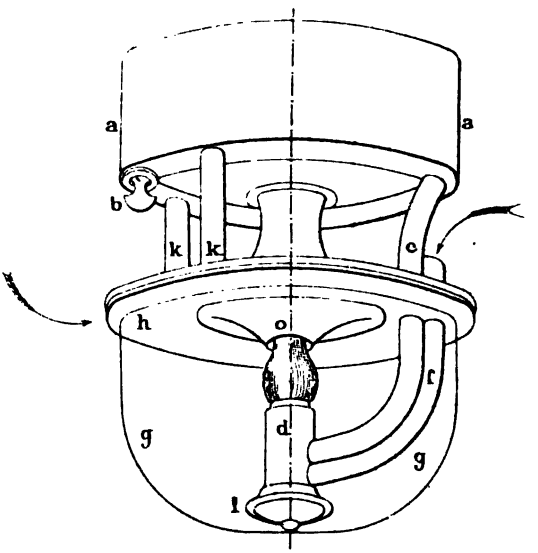


Fig. 142 — Lampe à huile du système Lafaurie et Potel.

Un réservoir annulaire *aa* reçoit la provision d'huile, 500 grammes environ, qui suffit amplement à seize heures d'éclairage; ce réservoir porte, à sa base inférieure, un bouchon *b* destiné à l'emplissage. De la même base inférieure part un tube *c* qui amène l'huile au bec *d*; au long du tube conducteur *c*, règne un autre tube *f*, plus gros, qui prend de

l'air, hors de la coupe, pour l'amener au centre du bec : la coupe *gg* environne le bec et ses conduits d'air et d'huile ; son bord supérieur est plat, large et parfaitement dressé à l'émeri. Sur ce bord vient reposer un réflecteur *hh*, qui recouvre entièrement la coupe ; il sert de point d'attache au bec et d'appui au réservoir, qui s'y fixe par deux entretoises *k*, *k*, et par le tube conducteur d'huile *c*. Il résulte de cette disposition que le réservoir, le réflecteur et le bec forment un ensemble inséparable, qui s'appuie sur la coupe. Le réflecteur, en posant sur la coupe, quoique le bord soit dressé, ne s'y applique pas hermétiquement ; trois cales, d'épaisseur calculée, laissent au pourtour un passage pour l'air qui doit alimenter l'extérieur de la flamme, comme l'air amené par le conduit *f* en alimente l'intérieur. On constitue ainsi un *bec circulaire*, ou bec d'Argand, à double courant d'air, dont la lumière vive, assez blanche et parfaitement fixe, n'exige pas l'intervention du verre cheminée. Un godet peut être ajouté au-dessous du tube pour recevoir l'huile qui en déborderait.

Pour en terminer avec le système particulier qui, aux lieu et place du verre cheminée, assure la combustion dans cette lampe, il nous reste à dire que le réflecteur porte en son milieu, à l'aplomb de la flamme, un orifice *o*, dont le diamètre est précisément égal à celui de la mèche de cet orifice et surmonté d'un long tuyau de tirage. Il s'ensuit que, quand la lampe est allumée, les gaz de la combustion, ainsi que l'air amené tant à l'intérieur qu'à l'extérieur du bec, sollicités par un appel énergique, se précipitent pour passer par cet orifice qui les resserre, les étire, en quelque sorte, et les oblige à se mélanger. La vitesse des gaz au passage de l'orifice est tellement rapide que les chocs les plus violents imprimés à la voiture par la marche et les inégalités de la voie ne peuvent faire dévier la flamme de sa direction et que, malgré l'exiguïté de l'orifice ($0^m,02$), ses bords ne sont pas noircis.

Les parties indépendantes qui constituent la lampe sont :

1° Une coupe en cristal qui occupe le bas de la lanterne et supporte la lampe ;

2° La lampe proprement dite, avec son bec, ses conduits, son réflecteur et son réservoir ; le tout d'un seul tenant ;

3° La partie centrale, mobile, du réflecteur adhérente à la naissance du tuyau de cheminée.

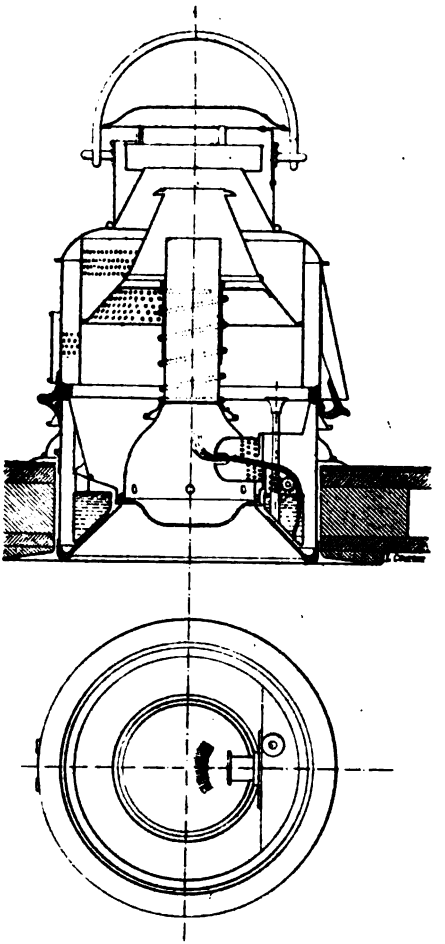


Fig 143 et 144. — Lampe Shallis et Thomas.

La réunion de ces trois parties constitue l'appareil d'éclai-

rage ; il ne reste plus qu'à l'entourer des moyens propres à le fixer à la voiture et à le protéger contre les actions extérieures qui pourraient troubler son fonctionnement.

Cette partie complémentaire de l'appareil, qui se nomme la lanterne, la cage ou le chapeau, se compose, comme dans la plupart des autres systèmes, de deux parties principales : l'une fixe, qui pénètre dans le pavillon de la voiture et reste pour ainsi dire à demeure ; l'autre mobile, qui la surmonte et s'y rattache au moyen d'une forte charnière.

Avec cette lampe, la consommation d'huile par heure, qui varie un peu selon la durée de l'éclairage, est comprise entre 25 et 30 grammes.

L'éclairage au *pétrole* est employé par la Compagnie d'*Orléans* au moyen des lampes *Shallis et Thomas*. Dans celles-ci, la flamme est horizontale (*fig.* 143 et 144) et placée notablement au-dessus du niveau de l'huile, qui monte dans la mèche par capillarité. Cette flamme se trouve dans une chambre de combustion en acier émaillé, séparée du réservoir d'huile par une enveloppe et un feutrage, de telle sorte que les vapeurs inflammables ne puissent y pénétrer. L'air nécessaire à la combustion est pris à l'extérieur de la voiture et arrive dans la flamme dans des conditions propres à assurer une combustion assez complète.

L'évacuation des produits de la combustion se fait par une cheminée en métal.

Une double enveloppe, percée de quelques trous à la partie supérieure, a été établie autour de la lampe même ; des conduits verticaux, soudés au réservoir, débouchent dans cet espace, afin d'assurer une rapide évacuation du liquide en cas de déversement dans un accident.

Le remplissage et l'allumage des lampes se font dans la lampisterie et non en place.

Chacune de ces lampes donne un éclairage un peu supérieur à 1 carcel ; on en place deux, de chaque côté du milieu, dans les compartiments de première classe et les coupés.

L'éclairage au *gaz* comprimé est très répandu en Angleterre et en Belgique sur tout le réseau de l'État, adopté par la Compagnie *Paris-Lyon-Méditerranée* et, pour les voitures de banlieue, par les Compagnies de l'*Ouest*, qui a été la pre-

mière en France à faire cette application, et de l'*Est*. L'Administration des chemins de fer de l'*État* en a fait aussi de nombreuses applications.

Le système le plus usité en France est celui de M. Pintsch, qui emploie le gaz riche produit par la distillation des huiles de pétrole, de goudron, de paraffine, comprimé à 7 atmosphères environ dans des réservoirs analogues à ceux des freins placés sous les voitures. Le gaz est comprimé par une usine centrale placée près des gares importantes, où il arrive au moyen des conduites souterraines munies d'ajutages débouchant sur les quais. On établit la communication entre la conduite et les voitures au moyen de tuyaux flexibles en caoutchouc renforcés par des spirales en fil d'acier, qui viennent se placer sur ces ajutages.

Chaque réservoir comporte un manomètre, bien visible de l'extérieur, indiquant la pression qui y règne et permettant de juger si le rechargement est devenu nécessaire.

Le gaz est distribué à chaque lampe placée sur le pavillon du compartiment à l'intérieur d'une coupe en cristal, suivant le mode ordinaire, par l'intermédiaire d'un régulateur ingénieux, dans la description duquel nous ne saurions entrer ici. A la Compagnie de *Paris-Lyon-Méditerranée*, un dispositif particulier permet la mise en veilleuse de la lampe, chaque fois que, pour en modérer l'éclat, on ferme le capuchon en étoffe qui entoure la lampe.

Malgré de nombreux essais, et bien qu'il existe, depuis 1892, des trains rapides, sur le *Nord*, éclairés par l'électricité, l'éclairage *électrique* n'est pas encore entré dans la pratique courante, du moins en Europe. Les systèmes expérimentés comportaient des lampes à incandescence alimentés par une dynamo placée dans le fourgon et mise en mouvement, au moyen d'une transmission par un des essieux de ce véhicule. Il était nécessaire d'interposer, sur le circuit, des accumulateurs donnant plus de fixité à la lumière et fournissant le courant pendant les arrêts du train.

131. Chauffage des voitures. — Peu de questions ont été l'objet d'aussi nombreuses recherches et d'essais plus multipliés que celle du chauffage des voitures de chemins de fer,

sans que cependant l'on puisse dire que le problème soit résolu ; c'est qu'il est, en réalité, fort complexe.

En France, jusqu'ici, on a trouvé surtout nécessaire de chauffer les pieds des voyageurs et l'on s'est contenté de la bouillotte, qui suffit en somme sous notre climat peu rigoureux. Dans les pays où les hivers sont longs et très froids, en Allemagne, en Russie, aux États-Unis, on a été conduit à d'autres systèmes qui donnent satisfaction dans les conditions locales, mais qui ne seraient pas toujours goûtés chez nous.

En Amérique, le mode spécial de construction des voitures permet de les chauffer au moyen d'un ou de deux poêles placés dans les bouts. On entretient la température à un degré qui serait considéré comme excessif par le public français et, malgré tout, cependant, les pieds restent souvent froids. D'ailleurs, ce système de chauffage, dangereux en cas de collision ou de déraillement, est prohibé par certains États et se trouve remplacé par le chauffage à l'eau chaude ou à la vapeur.

En France, le chauffage à l'eau chaude est le seul employé, que cette eau soit contenue dans des bouillottes mobiles, que l'on remplace dès qu'elles se refroidissent, ou qu'elle circule à l'intérieur de bouillottes fixes, le chauffage de l'eau étant obtenu par un petit poêle spécial placé sur chaque véhicule.

La bouillotte mobile est encore la plus répandue ; tout le monde sait en quoi elle consiste. L'eau de ces bouillottes, retirée des voitures, est réchauffée, dans les gares principales, au moyen de vapeur, provenant d'une chaudière fixe installée à cet effet, et envoyée dans les chaufferettes à l'aide d'un petit tuyau spécial qui y pénètre par le trou de remplissage. On doit remplacer les chaufferettes quand leur température s'abaisse dans les environs de 45°, c'est-à-dire après un trajet de deux heures environ.

Pour augmenter ce parcours, M. Ancelin a eu l'idée de remplir les chaufferettes avec de l'acétate de soude cristallisé, substance qui passe de l'état liquide à l'état solide vers 59°. Pendant toute la durée de la solidification, la température reste constante, et le calorique accumulé dans une masse déterminée, est beaucoup plus grande que dans un poids égal d'eau pure, à cause de la chaleur de fusion qui lui est fournie et se

trouve restituée pendant la solidification. Ces chaufferettes peuvent fournir sans réchauffage des parcours de huit à neuf heures, soit quatre fois plus que les chaufferettes à eau. Elles ont été expérimentées ou sont employées couramment en service sur les grandes lignes par les Compagnies du *Nord*, de l'*Ouest*, de *Paris-Lyon-Méditerranée* et par l'Administration des chemins de fer de l'*État*.

Actuellement, en France, on généralise le chauffage par *thermo-siphon*. Cet appareil a été étudié en vue de supprimer les manutentions gênantes auxquelles donne lieu l'emploi des bouillottes mobiles. Il permet de chauffer sur place, au moyen d'un foyer unique à combustion lente, les chaufferettes fixes installées dans les compartiments.

Le foyer se compose d'un cylindre en tôle percé de trous, placé sous une des traverses extrêmes du véhicule ou contre un brancard (*Nord*), de manière à permettre le chargement de combustible sans gêner l'entrée des voyageurs dans les voitures. Le tube contenant l'eau à échauffer est enroulé en serpentin autour du foyer et à une faible distance de ce dernier. L'eau chaude se rend par un tube spécial, dans les chaufferettes, où des cloisons l'obligent à suivre un circuit déterminé, de manière à fournir une température égale sur toute la surface des chaufferettes ; elle redescend ensuite par un autre tube à la partie inférieure du serpentin (*fig.* 145).

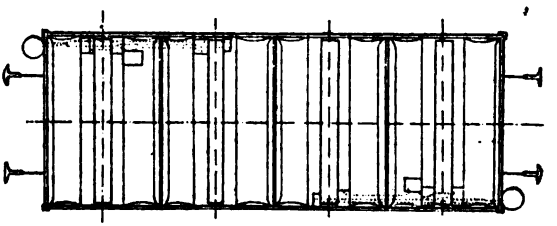


Fig. 145. — Disposition générale du thermo-siphon.

Un *vase d'expansion* pour le liquide sert en même temps d'appareil de sûreté pour le cas où la température d'ébullition se trouverait atteinte dans le thermo-siphon.

On emploie comme combustible des briquettes de charbon de bois.

L'appareil peut, sans que son foyer soit rechargé, chauffer deux compartiments pendant cinq heures environ. L'addition du combustible se fait de l'extérieur, sans que les voyageurs soient dérangés.

L'application du thermo-siphon, sous des formes un peu différentes, a été faite depuis sept ou huit ans, surtout par les Compagnies de l'*Ouest*, de l'*Est*, de *Paris-Lyon-Méditerranée* et du *Nord*.

La Compagnie d'*Orléans* emploie, pour ses nouvelles voitures, le chauffage à la vapeur sans pression, du système Bourdon. La vapeur, produite par un poêle spécial fixé sous la voiture, est envoyée dans des chaufferettes placées sous les pieds des voyageurs, au moyen d'une conduite inclinée servant au retour de l'eau de condensation.

Chaque chaufferette est munie d'un petit tube qui sert à la purge de l'air au moment de la mise en train et qui, dans le cas où la température est trop élevée, conduit la vapeur non condensée dans une boîte renfermant un régulateur. Ce dernier est, en réalité, un thermomètre métallique formé par un tube enroulé en spirale agissant sur le papillon de réglage placé dans la cheminée.

En cas de production trop abondante, la vapeur qui ne peut trouver issue vers les chaufferettes s'échappe dans l'atmosphère en passant dans la boîte du régulateur dont elle accentue le fonctionnement ; le réglage se fait donc automatiquement.

A l'étranger, particulièrement en Allemagne, en Hollande, depuis peu en Angleterre, aux États-Unis, c'est le chauffage par la vapeur dérivée de la machine qui jouit de la plus grande faveur. Il a été discrédité à l'origine par des applications imparfaites dues à l'absence d'organes, nécessaires à son bon fonctionnement, qui ont été inventés ou perfectionnés depuis peu, surtout les purgeurs automatiques ayant pour effet d'assurer l'écoulement régulier de la vapeur dans les conduites des voitures et de régulariser la température dans chacune d'elles, de telle sorte que les véhicules de queue soient aussi bien chauffés que ceux de tête.

Dans le système Gould, qui jouit d'une grande faveur en Amérique et en Angleterre, on dispose dans chaque compartiment, sous les banquettes, des accumulateurs cylindriques renfermant une dissolution saline qui ne peut s'évaporer, le réservoir étant hermétiquement clos. Ces accumulateurs sont chauffés par un courant de vapeur émanant de la machine et qui passe d'une voiture à l'autre par le moyen d'une conduite générale de 40 millimètres de diamètre et de boyaux d'accouplement analogues à ceux des freins à air. En un point convenablement choisi, on dispose sous chaque véhicule, sur cette conduite, un appareil spécial qui est une combinaison de robinets et de purgeurs automatiques, d'où partent des tuyaux servant à alimenter de vapeur les appareils de chauffage placés dans la voiture. Les tuyaux de purge de ces appareils se réunissent dans une conduite munie elle-même d'autres purgeurs automatiques.

Le but de l'accumulateur est de régulariser le chauffage et surtout d'éviter le refroidissement des voitures quand la machine est découplée.

On emploie, en Hollande, un système de chauffage par la vapeur qui constitue un perfectionnement très sérieux du système généralement usité en Allemagne. Les chaufferettes sont placées, non plus sous les banquettes, mais sous le plancher, au milieu du compartiment, de manière à chauffer les pieds des voyageurs.

Chaque compartiment de première et deuxième classe est muni :

D'un tuyau en laiton de 76 millimètres de diamètre, noyé dans le plancher et recouvert d'une plaque en laiton, et qui tient lieu de chaufferette ;

D'un autre tuyau en laiton, de 5 millimètres de diamètre, placé sous une des banquettes et servant à compléter le chauffage des compartiments ;

D'un troisième tuyau, de 76 millimètres de diamètre, placé sous la banquette qui n'est pas normalement en relation avec la conduite générale, et ne sert qu'au moment des grands froids.

Le couloir latéral est chauffé par un tuyau en spirale placé dans la paroi extérieure, recouvert d'une tôle perforée et en

communication constante, des deux côtés, avec la conduite générale.

Dans les voitures de troisième classe, on ne dispose, pour chaque compartiment, que le tuyau formant chaufferette.

La plaque qui recouvre cette dernière est chauffée à une température moyenne de 50 à 60°.

Quand on emploie un des systèmes de chauffage par la vapeur, la machine doit être amenée en tête du train, environ un quart d'heure avant le départ, pour que les compartiments soient convenablement échauffés. Quelques Compagnies étrangères emploient à cet effet, dans les grandes gares terminus, une machine de manœuvre spéciale dont on branche le tuyau de vapeur sur la conduite du train, à l'aide d'un accouplement provisoire.

Le chauffage par la vapeur sous pression n'est pas sans inconvénient, à cause des fuites ou ruptures de joints qui peuvent se produire dans les voitures et brûler les voyageurs. Aussi, dans quelques pays, en France et en Belgique notamment, cherche-t-on plutôt une solution du chauffage continu dans l'application de l'eau à la pression atmosphérique, chauffée par la vapeur dans des caisses placées sur la machine et qu'une pompe mue mécaniquement fait circuler dans la conduite du train et, de là, dans les appareils de chauffage des voitures.

132. Intercommunication. — Il est intéressant, dans les trains composés de voitures à compartiments séparés, d'établir, pendant la marche, une communication entre les voyageurs et les agents du train ; les appareils étudiés à cet effet ont reçu le nom d'*appareils d'intercommunication*.

Les appareils usités aujourd'hui sont électriques ou pneumatiques ; nous donnons un exemple de chacun d'eux choisi parmi les plus connus.

La Compagnie d'*Orléans* a fait choix du système électrique. Le garde-frein placé en tête peut demander l'arrêt du train au moyen d'un cordeau qui lui permet de faire sonner un timbre fixé sur le tender, près du mécanicien. On loge près du premier de ces agents une pile électrique dans le circuit de laquelle est introduite la sonnerie mise en mouvement

par les voyageurs qui font usage des appareils d'appel. Deux fils isolés partant de cette pile traversent les véhicules du train en émettant, dans chacun des compartiments et dans les vigies des fourgons des dérivations aboutissant à un fil électrique.

A l'extrémité du train, dans la guérite de queue, on fixe une seconde pile avec sonnerie placée en opposition avec celle de tête. La pile de queue sert de réserve.

Les boutons électriques mis à la disposition des agents ont leur fonctionnement libre et peuvent produire des sonneries de courte durée ; ceux qui sont mis à la disposition des voyageurs, dans les compartiments, ne peuvent produire qu'une sonnerie continue qui se prolonge jusqu'à ce que l'un des agents du train soit venu au compartiment s'informer des causes de l'appel et remettre le bouton électrique en ordre de marche.

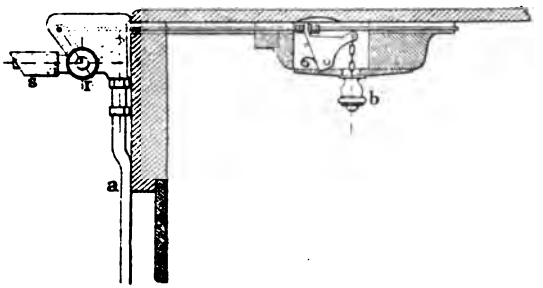
Les voyageurs font usage du bouton d'appel en tirant le gland qui est fixé à l'extrémité d'un verrou. Ce verrou, intérieur à la boîte du bouton, s'enclenche en faisant apparaître sous les brancards, à droite et à gauche de la voiture, un signal extérieur bien visible, constitué par un voyant en fer émaillé blanc qui indique immédiatement aux agents le compartiment où le bouton a été tiré.

L'appareil se remet en ordre de marche, sans clé, de l'extérieur, en ramenant simplement à la main le signal sous le brancard.

On reproche quelquefois aux appareils d'intercommunication électrique d'être sujets à des interruptions de courant dues à l'oxydation des porte-mousquetons ou organes chargés d'établir la communication électrique d'une voiture à l'autre et d'exiger une jonction nouvelle, lorsque l'on fait l'attelage.

Pour éviter ces deux inconvénients, la Compagnie de l'*Ouest* utilise, pour assurer l'intercommunication, l'air comprimé et la conduite principale du frein Westinghouse. De cette conduite se détache, à l'une des extrémités de chaque voiture, un branchement *a* (*fig.* 146 et 147) qui aboutit au robinet *r* d'un sifflet *s* placé sur cette voiture. En tirant un bouton ou un anneau *b* placé à l'intérieur du compartiment, on détermine l'ouverture du robinet : l'air de la conduite, en

s'échappant, fait résonner le sifflet. Le robinet ne pouvant être fermé que de l'extérieur, la poignée reste abaissée dans le compartiment d'où on a appelé, tant que le sifflet fonctionne. La voiture dont part l'appel est indiquée par le sifflet, et la poignée pendant à l'intérieur révèle le compartiment lui-même.



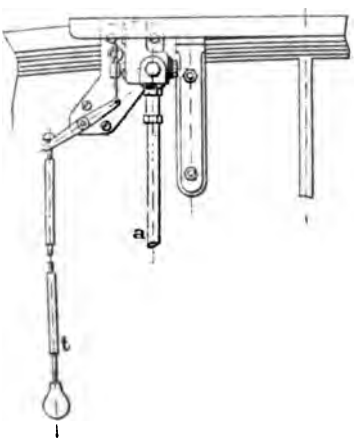


Fig. 146 et 147. — Intercommunication *Ouest.*

La dépression que produit dans la conduite l'échappement de l'air par l'orifice du sifflet, insuffisante pour produire le blocage du frein, fait fonctionner l'appareil avertisseur placé sur la machine, près du mécanicien. Ce dernier, lorsqu'il

entend le sifflet de cet appareil, met le robinet du frein dans la première position (V. la description du *frein Westinghouse*, ch. IV), pour activer le fonctionnement de la pompe et compenser la perte d'air qui se produit. Il prévient, en outre, le conducteur-chef au moyen de la corde de communication qui actionne le timbre du fourgon.

Avec ce système l'intercommunication existe sans l'addition d'aucun appareil nouveau d'attelage entre les véhicules du train, puisqu'elle est assurée par la conduite du frein elle-même.

L'appareil avertisseur, placé sur la machine (*fig.* 148 à 150), se compose d'un diaphragme flexible A, qui sépare deux

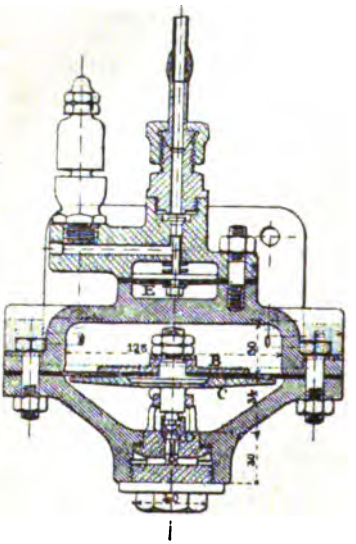


Fig. 148.

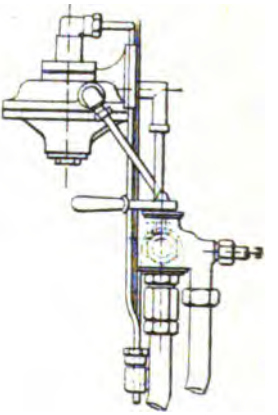


Fig. 149.

chambres communiquant, l'une B avec la conduite principale, l'autre C avec le réservoir auxiliaire de la machine.

Lorsque, par suite de l'ouverture d'un robinet de sifflet, une dépression se produit dans la conduite principale, le grand diaphragme est soulevé, entraînant le clapet inférieur D. La chambre inférieure se trouve ainsi mise en communication avec la partie inférieure du petit diaphragme E. Celui-ci se soulève sous l'action de la pression de l'air et ouvre le clapet supérieur F. L'air venant du réservoir principal s'échappe par ce dernier clapet et fait fonctionner le sifflet avertisseur de la machine. On a dû modifier légèrement le robinet du mécanicien pour éviter que la dépression produite par le mécanicien pour serrer les freins ne fasse vibrer le sifflet avertisseur. Quand ce robinet se trouve dans la deuxième position, la communication est établie dans la chambre supérieure du grand diaphragme et la conduite principale. Dans toutes les autres positions, cette communication est établie avec le réservoir principal.

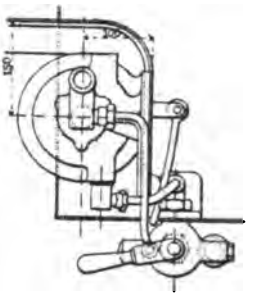


Fig. 150.

CHAPITRE II

CONSTRUCTION DE VOITURES ET WAGONS

133. **Parties constitutives des véhicules. — Caisses et châssis.** — Les voitures et wagons de chemins de fer se composent de deux parties principales, le *châssis* et la *caisse*, que nous examinerons successivement.

Le matériel européen comporte généralement un châssis absolument indépendant de la caisse, qui n'est que posée sur lui et maintenue par quelques attaches facilement démontables. Dans le matériel américain, au contraire, il n'y a pas de châssis ou, plutôt, caisse et châssis se confondent. La partie basse de la caisse, n'étant pas coupée latéralement par les portières, est susceptible d'une solidité assez grande pour remplir l'office des brancards. La caisse repose directement sur les pivots des trucks articulés. La *Compagnie Internationale des Wagons-Lits* possède un grand nombre de véhicules auxquels on a appliqué ce mode de construction, absolument général aux États-Unis.

Le *châssis* se compose lui-même de plusieurs éléments importants ayant à remplir des fonctions différentes et que l'on peut diviser comme suit:

Châssis proprement dit; — Appareils de choc et de traction; — Suspension; — Plaques de garde et boîtes de graissage; — Roues et essieux; — Freins.

134. **Châssis proprement dit.** — Les châssis servent à supporter les caisses sur les roues et portent, en outre, les appareils destinés à relier entre eux les divers véhicules d'un train. Ils doivent présenter une grande rigidité et une solidité à toute épreuve, car ils sont soumis à des efforts considé-

rables et souvent à des chocs violents; ils doivent néanmoins offrir la plus grande légèreté possible.

On doit envisager séparément les *châssis du matériel à voyageurs* et ceux du *matériel à marchandises.*

135. Châssis du matériel à voyageurs. — Les châssis étaient autrefois entièrement en bois; peu à peu, on a fait entrer le métal dans leur composition, et des châssis mixtes, composés de pièces en fer et en bois, on est arrivé peu à peu aux châssis entièrement métalliques, qui jouissent de la faveur générale, du moins sur le continent européen. Beaucoup de Compagnies anglaises et la Compagnie du *Nord*, en France, sont restées fidèles au bois, mais leur nombre diminue de jour en jour, et nous pensons qu'il n'est pas exagéré de dire que le châssis entièrement en bois est appelé à disparaître complètement; on n'en construit plus en France.

Le *châssis mixte*, ou châssis à brancards et attaches métalliques, comporte d'importantes parties en bois, telles que : traverses, entretoises, etc. Comme exemple de cette construction, nous citerons l'ancien châssis mixte de la Compagnie de l'*Ouest* (*fig.* 151), composé de brancards en section à **U**, en acier, d'une hauteur de $0^m,200$ et de $0^m,235$, entretoisés au moyen de six traverses intermédiaires en bois de 250/90 millimètres de section. Une grande croix de Saint-André en bois, formée de deux pièces à plat et au niveau supérieur du châssis, contrevente tout le système. Les branches de cette croix sont assemblées à mi-bois avec les traverses intermédiaires et retenues par un boulon vertical.

A la Compagnie du *Nord*, les brancards des châssis les plus récents sont seuls en fer à **I**; toute l'ossature est en bois; on s'est jusqu'à aujourd'hui maintenu dans cette voie, parce qu'on a reconnu qu'en principe le bois est beaucoup plus économique dans l'entretien et la réparation.

Par suite de la disposition des appareils de choc et de traction, les brancards n'ont à supporter qu'une partie des efforts de traction.

On a aussi beaucoup employé des châssis de ce genre dans lesquels les brancards, restant en bois, étaient armés extérieurement, sur toute leur hauteur et leur longueur, par des

tôles de 8 à 10 millimètres d'épaisseur placées suivant les faces verticales. Les brancards ainsi constitués étaient plus

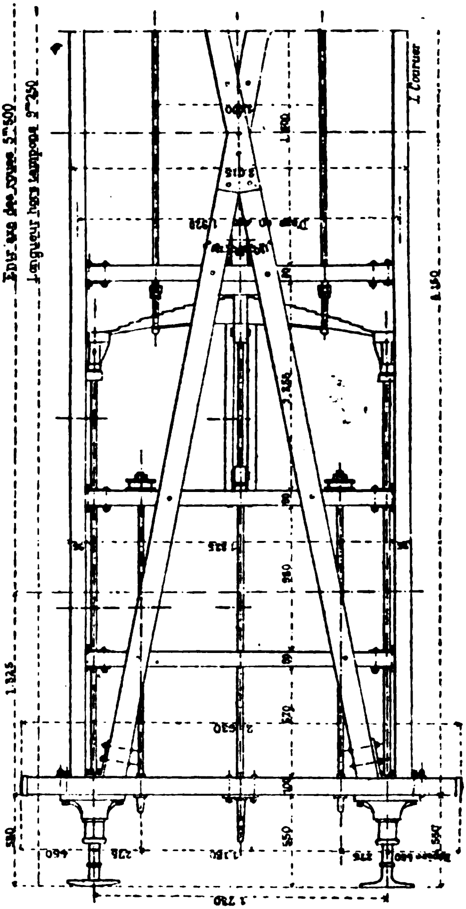


FIG. 151. — Châssis mixte.

lourds que les châssis en bois, sans présenter tous les avantages des châssis métalliques.

L'accroissement continuel du prix du bois, non moins que la plus grande résistance du fer et de l'acier à poids égal, ont

peu à peu amené les Compagnies à modifier leurs habitudes et à étudier de nouveaux châssis entièrement métalliques, qui sont presque partout préférés à l'heure actuelle.

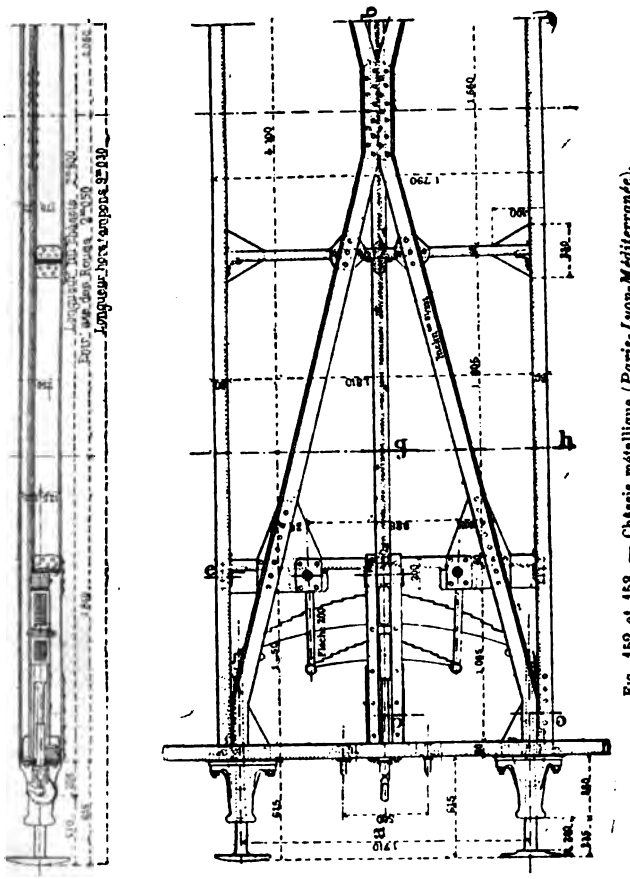


Fig. 152 et 153. — Châssis métallique (*Paris-Lyon-Méditerranée*).

La substitution du métal au bois n'a guère entraîné de modifications importantes dans l'ensemble des châssis, qui comportent à peu près les mêmes éléments qu'autrefois. Cependant, dans certains types de châssis métalliques, comme

ceux de l'*Est*, on a supprimé la croix de Saint-André, qui se trouve remplacée par un système d'assemblages rectangulaires consolidés par des goussets métalliques.

Les figures 152 et 153 représentent un châssis métallique de la Compagnie de *Paris-Lyon-Méditerranée*. Le fer à U est employé d'une manière générale pour les brancards et pour toutes les traverses ; le profil à I est seulement usité pour les flèches, et les cornières pour la croix de Saint-André.

Les brancards sont entretoisés par quatre traverses intermédiaires de moindre hauteur avec lesquelles ils sont assemblés par des goussets et deux équerres, dont l'une se prolonge jusqu'au plan supérieur du châssis.

Les brancards sont assemblés aux traverses extrêmes à l'aide d'équerres d'angle extérieures et de goussets.

Les branches de la croix de Saint-André sont réunies au centre par un long gousset rivé lui-même à la flèche, et aux traverses des bouts par leurs extrémités recourbées ; elles sont reliées par des goussets aux traverses intermédiaires.

Une flèche longitudinale relie entre elles les traverses intermédiaires et s'oppose à leur flexion.

Quand, dans la suite, on a séparé les ressorts de choc et de traction, autrefois communs pour ces véhicules, on a consolidé les traverses intermédiaires des bouts par une plate-bande de toute la largeur du châssis, fixée contre les ailes inférieures des traverses et des brancards.

Toutes ces pièces sont rivées avec soin de manière à présenter une liaison parfaite, que les trépidations ou les chocs ne parviennent pas à ébranler.

Dans le châssis de la Compagnie de l'*Est*, représenté sur les figures 154 à 156, on a supprimé la croix de Saint-André. La rigidité est obtenue au moyen de goussets disposés dans les angles et rivés aux ailes inférieures des brancards et des traverses, et par quatre flèches en cornières disposées parallèlement au-dessus des traverses intermédiaires et reliées à celles-ci par des équerres d'angle et des goussets.

Les brancards, en fer à I de 220 millimètres de hauteur, sont réunis aux traverses de tête, en section à U, par des équerres d'angle qui consolident les goussets inférieurs. De plus, trois traverses intermédiaires en fer à I, de 140 millimètres

de hauteur, entretoisent les brancards, auxquels elles sont reliées par deux équerres rivées.

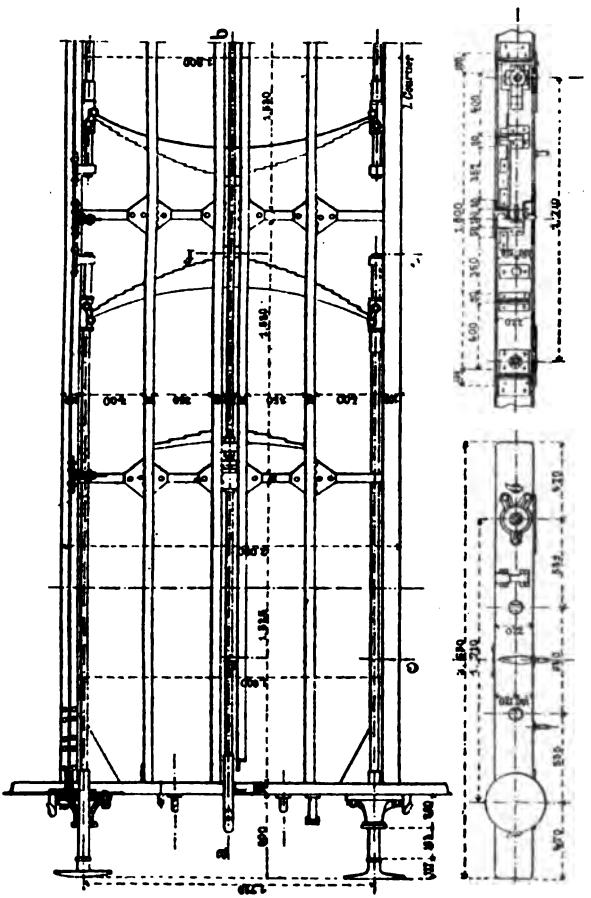


Fig. 154 à 156. — Châssis métallique (*Est*).

La traverse du milieu est seule intéressée aux efforts de compression, lorsque le véhicule est refoulé. Les efforts de traction sont supportés par les autres traverses intermédiaires,

mais leur action est très atténuée par l'emploi d'une barre de traction continue.

Un tel châssis pèse environ 370 kilogrammes par mètre courant.

On trouvera plus loin le plan d'ensemble d'un châssis d'une grande voiture à voyageurs à six roues des chemins de fer hollandais. Ce châssis entièrement métallique se compose de deux brancards en fer en **U** et d'une flèche centrale de même forme s'étendant suivant toute la longueur. Les traverses de tête, comme les quatre traverses intermédiaires, sont également en fer en **U**. Le châssis est consolidé par une double croix de Saint-André. L'attelage est à barre de traction continue, avec ressorts héliçoïdaux. Les ressorts de choc sont placés dans les faux tampons.

136. Châssis du matériel à marchandises. — La construction de ces châssis repose sur les mêmes principes que celle des châssis de voitures à voyageurs. Toutefois, les échantillons sont généralement plus forts, surtout en raison de la disposition des appareils de choc et de traction qui sont ordinairement plus simplement établis.

Le bois tend à disparaître, comme pour les voitures à voyageurs.

On emploie encore cependant les châssis mixtes, que l'on retrouve actuellement sur un grand nombre de véhicules des Compagnies de l'*Ouest*, d'*Orléans* et du *Midi*.

Dans le châssis de l'*Ouest*, les brancards sont métalliques en section à **I** de 200 ou 235 millimètres de hauteur. La croix de Saint-André est formée de deux fers méplats rivés au centre, reliés entre eux par des goussets, et qui viennent se fixer sur des parties recourbées des équerres d'angle intérieures formant l'assemblage des brancards avec les traverses de tête; celles-ci sont en bois, ainsi que les traverses intermédiaires et les deux flèches.

Les Compagnies de *Paris-Lyon-Méditerranée* et de l'*Est* emploient depuis longtemps pour leurs wagons des châssis métalliques, semblables à ceux de leurs voitures, que nous avons examinés plus haut. Ils n'en diffèrent guère qu'en ce que le ressort de choc sert aussi pour la traction et que la

consolidation des traverses intermédiaires des bouts n'est pas nécessaire comme dans le matériel à voyageurs.

La Compagnie de l'*Ouest* a appliqué à ses véhicules, type 1894, un système d'ossature métallique présentant une grande légèreté et dans lequel l'emploi du métal ne se borne pas à la construction du châssis ; il s'étend aussi à la charpente des caisses. On trouvera (*fig.* 139 et 140) le châssis du wagon plat chargeant 12 tonnes. Ce châssis est formé de *cours* remplaçant les brancards ordinaires et formés chacun de deux fers en U de 80 millimètres de hauteur, espacés d'environ 90 millimètres l'un de l'autre. Les deux cours extérieurs comportent chacun, à la partie supérieure, un fer en U de 80 millimètres de hauteur, en bas, une cornière à branches inégales de 80 × 60 × 8 millimètres; il en est de même des deux flèches situées à $0^m,40$ de l'axe longitudinal du véhicule.

De part et d'autre des roues, se trouvent des traverses intermédiaires formées de deux fers en U de 80 millimètres de hauteur, placés à la partie inférieure des fers en U des cours longitudinaux, qui se prolongent jusqu'à la face extérieure.

Dans les deux cours extérieurs formant brancards, la cornière longitudinale du bas est placée en dessous du fer transversal. Cette disposition augmente la distance entre les points d'attache et, par suite, la résistance.

Les profilés formant, en réalité, les ailes de chaque cours sont réunis par de petits bouts de cornières disposés les uns verticalement, les autres obliquement, à peu près comme dans une poutre à treillis.

Des goussets en tôle mince, interposés à tous les croisements de profilés, assurent l'indéformabilité de l'ensemble.

Ce système de construction présente surtout l'avantage de n'employer que des profilés de types courants et d'échantillons très variables, coupés de longueur et poinçonnés; aucun n'est cintré ou contre-coudé.

On trouvera, dans la figure 159, un autre genre de construction appliqué à des wagons de la Compagnie du *Midi*.

137. Appareils d'attelage, de choc et de traction. — Tous les véhicules des chemins de fer européens à voie normale

sont reliés entre eux par des tendeurs d'attelage et des tampons reliés à des appareils élastiques, placés sous le châssis et destinés à atténuer les chocs préjudiciables à la conservation du matériel et au confort des voyageurs.

L'effort de traction est transmis d'un véhicule à l'autre par le *tendeur*, composé d'une vis à deux filets, l'un à droite et l'autre à gauche, placée entre les deux crochets de traction situés au milieu des traverses des véhicules consécutifs, et que l'on serre en la faisant tourner, à l'aide d'un levier venu de forge en son milieu, à l'intérieur de deux écrous solidaires des mailles qui s'engagent dans ces crochets. Grâce à cette vis, on peut établir un serrage énergique entre les tampons des deux véhicules et, comme ces tampons agissent sur des ressorts, établir entre ces véhicules une liaison étroite permettant cependant le déplacement relatif lors du passage dans les courbes. Le levier du tendeur se termine par un contrepoids qui a pour but de le maintenir suivant la verticale, vers le bas, et d'empêcher son desserrage en cours de route. L'attelage est complété par deux *chaînes de sûreté*, qui normalement ne sont pas tendues de manière à ne pas brider les véhicules dans les courbes, car elles se trouvent placées sur le côté, et non dans l'axe, et sont appelées à n'entrer en jeu qu'en cas de rupture du tendeur.

Chaque crochet de traction porte un œil dans lequel est placée à demeure une des branches d'un tendeur. On fait l'attelage par l'autre branche, que l'on engage dans le crochet du second véhicule. Quand cet attelage est fait, un des tendeurs est nécessairement inutilisé.

Ces appareils d'attelage sont, du reste, identiques à ceux qui se trouvent disposés sur les traverses avant des locomotives et sur les traverses arrière des tenders.

Pour que tous les véhicules d'un train puissent s'atteler convenablement, on a été conduit à donner partout aux appareils de traction et aux tampons les mêmes dimensions, les mêmes écartements et à les placer à une même hauteur au-dessus du rail. L'écartement entre les véhicules doit être suffisant pour que les hommes d'équipe puissent pénétrer entre eux et faire l'attelage sans danger (Conférence de Berne, rectangle de 400/300, les tampons renfoncés).

Sur quelques chemins de fer à voie étroite et sur toutes les lignes américaines, les véhicules à voyageurs ou à marchandises sont munis d'attelages centraux et souvent automatiques. Dans le système américain, qui présente une admirable simplicité, les tampons et le tendeur sont remplacés, sur chaque véhicule, par une sorte de mâchoire placée au centre de la traverse. Chaque portion de l'attelage se compose d'une tige A (*fig.* 157 et 158) terminée au dehors par une fourche C servant à la fois de tampon de choc et de crochet d'attelage ; cette tige est reliée à un ressort héliçoïdal de choc et de traction. Une des extrémités de la fourche

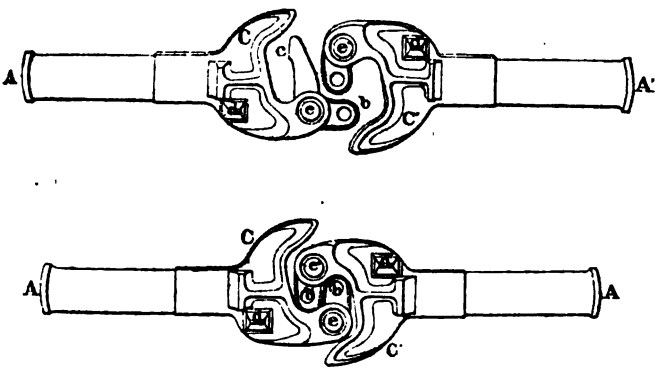


Fig. 157 et 158. — Attelage américain.

porte un œil *e* autour duquel peut pivoter librement, de 90°, une petite équerre en fer *ceb* à axe vertical. Quand cette équerre est rabattue, on la verrouille à l'aide d'une cheville métallique *d* sur laquelle on vient agir à l'aide d'un levier placé sur la plate-forme du véhicule. Cette cheville se termine, à sa partie inférieure, par un plan incliné, de sorte que, si l'équerre est rabattue vivement vers l'intérieur, cette cheville soit soulevée par le doigt de l'équerre derrière lequel retombe la cheville ; l'attelage est ainsi opéré automatiquement par le refoulement des deux véhicules les uns sur les autres. On le supprime en soulevant la cheville mobile à l'aide du levier placé sur la plate-forme.

Ce système, à la fois simple et ingénieux, ne présente toutefois, pour nous, qu'un intérêt de curiosité, car, en Europe, on préfère l'attelage à tendeur avec tampons latéraux, appliqué à un trop grand nombre de véhicules pour que l'on puisse espérer le remplacer un jour par un des systèmes américains.

Les véhicules circulant sur les chemins de fer français sont tous aujourd'hui munis d'appareils élastiques ayant pour effet d'amortir les chocs de refoulement ou de traction. On trouve encore quelques wagons à houille munis de *tampons secs*, sans ressorts, mais on n'en construit plus.

Ces appareils, plus perfectionnés pour le matériel à voyageurs que pour le matériel à marchandises, consistent en ressorts à feuilles étagées, analogues à ceux de la suspension qui tantôt sont doubles et fonctionnent indépendamment pour le choc et la traction, tantôt sont uniques et communs pour ces deux actions.

Afin de désintéresser le châssis des efforts de traction, particulièrement considérables, on le conçoit, pour les véhicules placés en tête d'un train, on relie ordinairement les ressorts de traction correspondant aux deux traverses, par des bielles articulées sur les extrémités enroulées d'une feuille spéciale. L'effort de traction se transmet ainsi d'un véhicule à l'autre par l'intermédiaire de ces bielles, et le châssis n'est soumis de ce fait à aucune fatigue. Toutefois, l'avantage de ce système est beaucoup moins grand avec les châssis métalliques parfaitement appropriés, pour résister aux efforts de traction longitudinaux, qu'avec les anciens châssis en bois, et quelques Compagnies se dispensent de l'appliquer.

Ces ressorts, présentant une bande initiale assez forte, sont ordinairement situés vers le milieu du châssis, dans le voisinage les uns des autres; ils sont reliés aux tampons et crochets d'attelage par des tiges assez longues. Toutefois, dans certains châssis métalliques, on a reporté les ressorts dans les bouts, près des traverses.

Pour le matériel à marchandises, on emploie aussi de grands ressorts communs au choc et à la traction, et quelquefois conjugués deux à deux pour la traction, comme dans les voitures à voyageurs. Plus souvent, toutefois, les ressorts de

traction sont courts et indépendants des ressorts de choc. Ceux-ci sont parfois formés, comme dans les locomotives, de ressorts héliçoïdaux ou de rondelles Belleville, placés dans les boîtes extérieures des tampons.

Appareils du matériel à voyageurs. — Les appareils à *ressorts indépendants et spéciaux* sont les plus employés. On en trouvera un exemple dans les figures 152 et 153 (voir plus haut), qui représentent un châssis métallique de la Compagnie *Paris-Lyon-Méditerranée*. Ces ressorts sont placés aux extrémités du châssis.

Les ressorts de choc, présentant une flexibilité de 50 millimètres par tonne, sont appuyés sur les traverses intermédiaires des bouts du châssis ; ils sont pris dans des brides dont les faces latérales sont arrondies, afin de permettre aux ressorts de s'incliner par rapport à leur point d'appui, pour ne pas créer de résistance au passage des courbes. Les tiges des tampons, guidées au dehors par des *faux tampons* en fonte, agissent sur les extrémités des ressorts de choc par l'intermédiaire d'un plateau claveté à leur extrémité postérieure.

Les ressorts de traction, séparés de ceux de choc par une cale en fonte fixée aux glissières-guides, exercent directement leur action sur les traverses intermédiaires des bouts. Les maîtresses-lames sont à cet effet reliées, par leur extrémité enroulée, aux traverses intermédiaires, à l'aide de bielles articulées qui viennent s'appuyer sur deux supports en fonte solidement fixés, d'une part, aux traverses et, d'autre part, à une plaque en tôle de toute la largeur du châssis. La barre de traction est solidaire de la bride du ressort.

Dans ce dispositif, ce sont les parties constitutives du châssis, les brancards, la flèche et la croix de Saint-André, qui transmettent l'effort de traction.

Chacun de ces ressorts est soumis à une bande initiale de 1.200 kilogrammes, que l'on porte à 2.100 kilogrammes par le serrage du tendeur à neuf tours de manivelle environ.

Les chaînes de sûreté, écartées de $0^m,500$ d'axe en axe, sont simplement reliées aux traverses de tête sans l'interposition d'aucun système élastique.

Le châssis de la Compagnie de l'*Est*, qui est représenté plus

haut (*fig.* 154 à 156) nous offrira un autre exemple dans lequel les ressorts de traction sont conjugués au moyen d'une barre de traction continue placée suivant l'axe.

Les ressorts de choc sont placés au centre du châssis et directement opposés ; ils présentent une flexibilité de 84 millimètres par tonne; ils agissent par la poussée des tampons sur la traverse milieu du châssis au moyen de tasseaux interposés entre les brides et cette traverse. Les tiges des tampons agissent sur les extrémités de ces ressorts à l'aide de petites menottes articulées. Les ressorts de choc peuvent aussi s'incliner par rapport à leur position moyenne, de manière à assurer le partage égal de la pression entre les deux tampons.

Les ressorts de traction, situés plus près des bouts, s'appuient par leurs extrémités sur des équerres à simple T fixées contre les traverses intermédiaires, au droit des flèches latérales.

La barre de traction continue et rigide, solidaire des deux ressorts, a pour effet de supprimer les chocs au démarrage, les réactions à l'arrêt des trains, chaque ressort n'ayant à subir d'autre effort que celui qui est nécessaire pour entraîner le véhicule dont il fait partie.

Ce genre d'attelage, combiné avec l'emploi de ressorts héliçoïdaux, est d'un usage général en Allemagne et se répand en France. On le retrouve sur les nouvelles voitures de la Compagnie d'*Orléans*. Les ressorts de choc, également héliçoïdaux, sont placés dans les faux tampons.

La bande initiale des ressorts du châssis de la Compagnie de l'*Est*, que nous venons d'examiner, est de 1.600 kilogrammes; elle est portée à 2.200 kilogrammes par le serrage du tendeur.

La Compagnie de *Paris-Lyon-Méditerranée* emploie pour ses nouvelles voitures les appareils de choc et de traction du système Chevalier et Rey, qui se distingue des dispositifs précédemment étudiés par l'interposition entre le ressort de choc E et le ressort de traction D, d'un balancier H supportant à ses extrémités la tension initiale du ressort de choc et la reportant, en son milieu, sur la partie postérieure de la chape B du ressort de traction (*fig.* 159). Les chapes B et C

des deux ressorts sont, en outre, articulées sur un axe com-

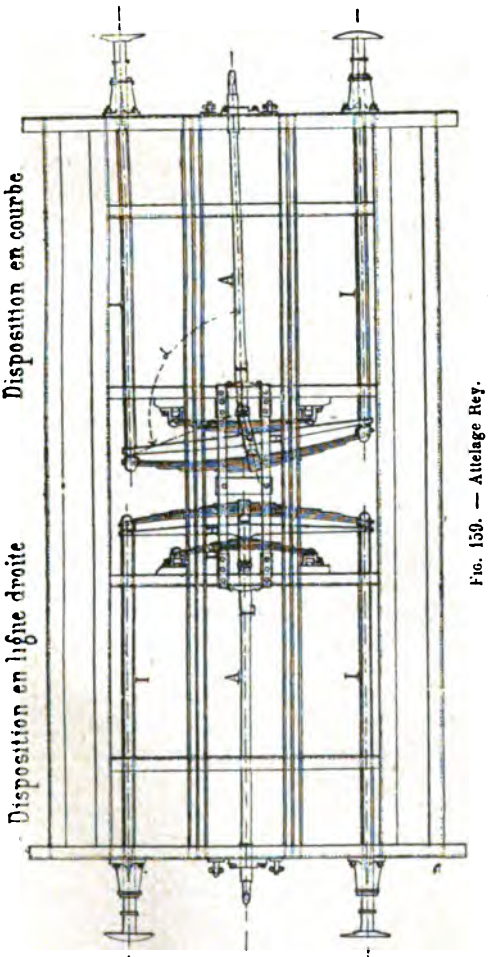


Fig. 150. — Attelage Rey.

mun K qui reçoit en même temps l'extrémité de la tige de traction.

Grâce à ce dispositif, les tiges des tampons, se trouvant conjuguées deux à deux, sont obligées de suivre les mouvements du balancier, et les tampons de deux véhicules consécutifs restent toujours en contact, aussi bien en ligne droite qu'en courbe, quel que soit l'effort de traction exercé par la locomotive.

A mesure que les empattements des véhicules ont augmenté et que les voies s'améliorent, le serrage des tampons et des attelages, tout en restant une chose désirable, a moins d'importance qu'autrefois. Les longues voitures à bogies ont assez de stabilité par elles-mêmes sans qu'il soit nécessaire de les relier aussi étroitement que possible aux véhicules qui les précèdent ou qui les suivent.

Comme exemple d'appareils à *ressorts uniques*, nous citerons la disposition de la figure 151, que l'on retrouve sur un grand nombre de voitures de la Compagnie de l'*Ouest*. Les ressorts de choc sont placés vers le centre du châssis et tournés dos à dos. Une flèche centrale unit les deux traverses intermédiaires pour s'opposer à leur flexion sous l'effort de compression des tampons.

Les extrémités des ressorts s'appuient sur des mains de choc en fonte qui pressent les guides des tiges de tampons boulonnés contre les brancards.

Deux feuilles additionnelles et à rouleaux, appliquées sur les maîtresses lames, sont réunies par des bielles de connexion qui ont pour but de diminuer notablement la flexibilité du ressort à la traction, en réduisant sa longueur utile. Les ressorts, ainsi conjugués, forment avec la tige de traction une barre continue et élastique qui se substitue en partie aux brancards pour la transmission de l'effort de traction. Si même l'attelage n'est pas très serré, et qu'il reste un jeu entre les mains et les guides, ce dispositif réalise complètement la barre de traction continue.

La bande d'attelage est de 2.400 kilogrammes environ pour les trains de grandes lignes ; la bande initiale est de 2.000 kilogrammes environ.

On retrouve, sur beaucoup de voitures de la Compagnie du *Nord*, une disposition à ressort unique très semblable à celle que nous venons de décrire ; toutefois, les ressorts sont éloi-

gnés de la traverse centrale et reportés près des traverses de tête. Deux cales en bois, appliquées contre le dos des brides des ressorts, reportent sur la traverse milieu les chocs subis par les tampons, dont le châssis se trouve ainsi désintéressé.

Appareils du matériel à marchandises. — Les appareils de choc et de traction des wagons diffèrent surtout de ceux des voitures par leur plus grande simplicité, en rapport avec la construction des véhicules, eux-mêmes moins perfectionnés. Les appareils de ce genre ne sont appliqués au matériel à marchandises qu'en vue de diminuer les chocs et perturbations funestes à sa conservation. En Angleterre, on s'en est dispensé jusqu'en ces derniers temps, parce que l'on a toujours donné la préférence, pour le service des marchandises, au matériel extrêmement simple, de construction très économique, un peu grossi, mais robuste, que l'on remplace souvent et à peu de frais. En France, au contraire, depuis quelques années surtout, on tend à apporter de plus en plus de soin à la construction du matériel à marchandises.

Les courses élastiques au choc et à la traction, dans les wagons, sont réduites aussi en vue de diminuer les amplitudes du recul après l'arrêt des trains, qui sont ordinairement très longs. D'autre part, on attelle les wagons sans serrage, les tampons ne venant même pas en contact à l'état de repos. Cela donne une économie de main-d'œuvre qui n'a pas d'inconvénients au point de vue de la stabilité, la vitesse de ces trains étant assez faible pour ne pas exiger, entre les différents véhicules, une liaison aussi complète que celle nécessaire pour les voitures des trains de voyageurs. En outre, les attelages trop serrés rendraient difficile le démarrage des trains de marchandises, qui sont généralement très lourds; le mou donné aux attelages permet à la machine d'opérer successivement, pour ainsi dire, le démarrage des différents wagons. Pour un jeu de 5 centimètres existant entre les tampons, avec un train de cinquante wagons, même en ne tenant pas compte de la flexibilité des ressorts de traction, la machine aura parcouru $2^{m},50$, quand elle commencera à entraîner le dernier wagon du train.

Les appareils de choc et de traction en usage pour les wagons

se composent ordinairement de ressorts héliçoïdaux placés dans les faux tampons et de ressorts également héliçoïdaux ou à lames étagées, très peu flexibles, reliés à chaque crochet de traction. Ces appareils peuvent, en principe, se rattacher à trois types principaux, suivant que les ressorts de choc et de traction sont ou non indépendants, et suivant que les ressorts de traction sont ou non conjugués.

La tendance est aujourd'hui de supprimer les ressorts à lames et d'adopter la barre de traction continue. On trouvera dans les figures 139 et 140 le dispositif adopté pour les nouveaux wagons de la Compagnie de l'*Ouest*. La barre de traction continue agit à chaque bout, au moyen d'un plateau en fonte qui lui est claveté, sur un ressort spirale à fil rectangulaire adossé à un renfort de la traverse de tête. Les faux tampons sont en fer étamé et renferment chacun un ressort héliçoïdal s'appuyant sur la traverse, qui ne fatigue nullement, car elle est renforcée en ce point par un cours longitudinal de cornières la reliant à l'autre traverse. Avec ce dispositif, les châssis sont désintéressés des efforts de traction, mais non des chocs au refoulement; ils sont, d'ailleurs, suffisamment robustes pour leur résister.

138. Suspension. — La suspension des véhicules constituant le matériel roulant des chemins de fer s'opère, comme celle des voitures ordinaires, à l'aide de *ressorts* qui reportent la charge sur les boîtes à graisse des essieux et absorbent en majeure partie le travail développé par les chocs extérieurs dus aux inégalités de la voie. Dans ces véhicules, supportés en outre, par plusieurs essieux, les ressorts ont encore pour objet d'assurer la répartition de la charge sur les roues. Ils atténuent, en outre, l'action de ces roues pesamment chargées sur les rails et sont favorables à la conservation des voies et du matériel roulant; ils sont donc également nécessaires pour le matériel à marchandises, bien que leur flexibilité puisse être diminuée.

Indépendamment de leurs conditions de résistance à l'action des charges qu'ils ont à supporter et des chocs auxquels ils sont soumis, les ressorts présentent un élément d'intérêt majeur, qui est leur *flexibilité* proportionnelle à la charge et

croissant rapidement avec leur longueur. Cette flexibilité doit varier dans une large mesure, suivant les applications. Faible pour les wagons à marchandises, elle doit être beaucoup plus grande pour les voitures à voyageurs, et surtout pour les voitures de luxe. Il y a pourtant une limite qu'il convient de ne pas dépasser, car une trop grande flexibilité entraîne des oscillations exagérées, désagréables pour les voyageurs.

La longueur des ressorts a subi, depuis quelques années, en ce qui concerne les voitures de première classe et de luxe surtout, un accroissement en rapport avec celui de la vitesse et des empattements. Cette longueur atteint fréquemment aujourd'hui $2^m,50$ entre points d'attache. Ces ressorts, ayant une grande flexibilité, sont d'ordinaire complètement aplatis sous la charge, malgré la flèche considérable de fabrication qui leur est donnée.

Les ressorts des voitures de classes inférieures et même des fourgons destinés à entrer dans la composition des trains express ont une longueur comprise entre $1^m,50$ et 2 mètres. Pour les wagons, on se contente presque toujours de longueurs beaucoup plus faibles; celle de 1 mètre est d'un usage général.

Quant à la flexibilité maximum, elle atteint jusqu'à 150 millimètres par tonne pour les ressorts des voitures de luxe et de première classe ; la flexibilité des ressorts de fourgons ne dépasse guère 40 millimètres ; et celle des wagons, 20 millimètres.

Les ressorts employés pour la suspension sont composés de plusieurs lames étagées, de section rectangulaire, présentant parfois un amincissement graduel aux extrémités, pour donner au ressort une forme se rapprochant autant que possible de celle du solide d'égale résistance. Le plus souvent, par raison d'économie, on laisse aux feuilles la même épaisseur sur toute leur longueur, mais on les termine par une partie en trapèze, présentant une largeur décroissante, ce qui revient au même.

L'assemblage des lames est assuré, au milieu, par un boulon et, aux extrémités, par des *étoquiaux* rivés dans chaque lame et glissant dans la rainure pratiquée sur la lame voi-

sine (*fig.* 160 et 161). Aujourd'hui, on préfère généralement employer des lames comportant des cannelures longitudinales, venues de laminage, qui s'emboîtent les unes dans les autres. Plusieurs Compagnies, en France et à l'étranger, maintiennent les lames, au milieu, par une bride en fer forgé posée à chaud, comme pour les ressorts de machines.

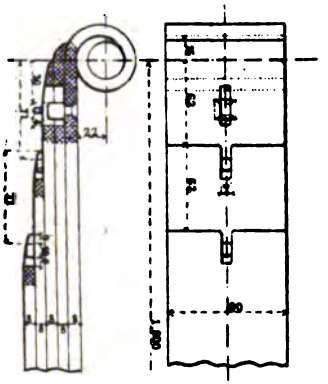


Fig. 160 et 161. — Rouleau et étoquiau.

Les ressorts se font en acier dur trempé. Autrefois, on employait uniquement des aciers fondus au creuset ; mais l'emploi, beaucoup moins dispendieux, des aciers fondus sur sole, au four Martin, est devenu à peu près général.

139 Disposition générale de la suspension. — Ordinairement, les ressorts sont placés au-dessus des boîtes, parallèlement aux brancards et au-dessous d'eux (*fig.* 162).

Le ressort repose par son milieu sur la boîte à graisse, où il est, le plus souvent, en outre, fixé à demeure à l'aide de boulons. On emploie fréquemment (*Ouest*, *Orléans*) le mode d'attache représenté par les figures 163 et 164. Le ressort est saisi, de chaque côté de la boîte, par un étrier dont les écrous de serrage s'appuient sur une platine en fonte ou en fer posée sur le ressort. La forme et la disposition de ces étriers peuvent varier à l'infini ; mais le principe de la fixation reste généralement partout le même. Toutefois, on commence à employer beaucoup les brides, comme pour les ressorts de machines, disposition déjà usuelle en Angleterre et, depuis quelques années, usitée par les Compagnies de l'*Ouest* et du *Midi*. Le ressort est serré, au milieu, par une bride posée à chaud et quelquefois, en outre, traversée par un petit boulon vertical. Cette bride, rabotée à sa partie inférieure, repose sur le des-

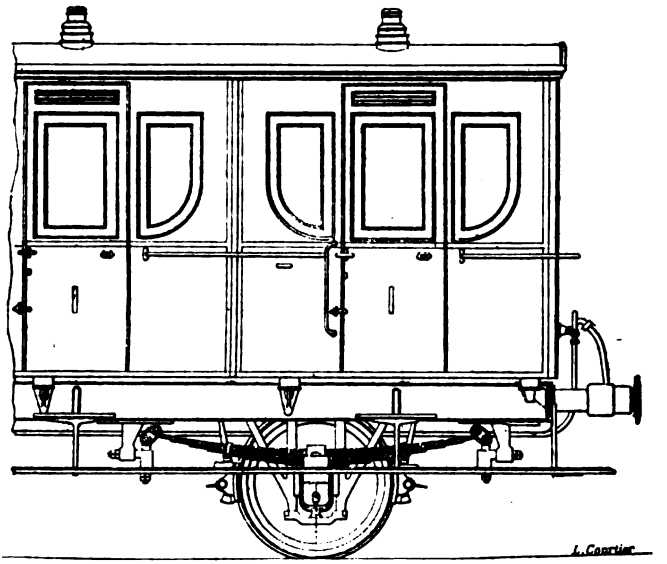


Fig. 162. - Disposition générale de la suspension.

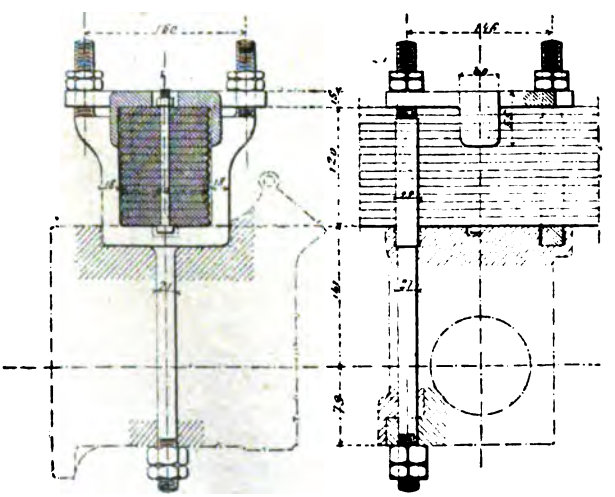


Fig. 163 et 164.

sus de boîte, où elle s'encastre à l'intérieur d'un logement rectangulaire. Il n'y a ni étriers ni boulons de serrage. C'est la disposition la plus simple et la moins dispendieuse. La bride peut aussi comporter, à la partie inférieure, un petit téton en saillie qui pénètre dans un trou de même diamètre pratiqué à la partie supérieure du dessus de boîte.

Les ressorts sont chargés par leurs extrémités, sur lesquelles parfois les brancards viennent reposer directement. Cette disposition n'est usitée que pour certains wagons à marchandises. Pour les autres véhicules, on interpose, entre le brancard et l'extrémité du ressort, une menotte articulée. Les extrémités des maîtresses-lames, terminées par des rouleaux, sont reliées par des menottes à des mains de suspension en fer ou en fonte boulonnées sur le dessous des longerons. Ces menottes ont une inclinaison sur l'horizontale d'environ 45°; elles établissent une liaison articulée permet-

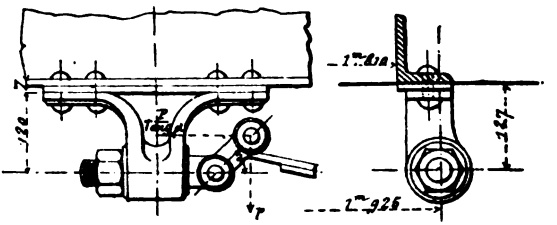


Fig. 165 et 166.

tant le déplacement de l'essieu, suivant le jeu laissé dans les plaques de garde, pour la facilité du passage en courbes. Cette disposition permet de produire directement par les ressorts l'entraînement horizontal des essieux, ce qui permet d'augmenter le jeu des boîtes dans les plaques de garde, qui ne sont plus que des organes de sécurité. On trouvera (*fig.* 165 et 166) le type de main de suspension et de menottes le plus communément employé. On en trouvera un autre type (*fig.* 162), employé par la Compagnie d'*Orléans*. Ces dernières menottes sont formées par des maillons allongés s'appuyant sur une vis de tension inclinée et frottant sur de petits galets en acier montés à frottement libre sur les axes

d'articulation de la vis et du ressort, ce qui facilite le déplacement transversal de l'essieu. On interpose, en outre, entre la main et la tige de réglage, une rondelle en caoutchouc appelée à diminuer les trépidations.

Dans les voitures à six roues, on emploie pour les ressorts de l'essieu milieu des dispositifs un peu différents, ayant pour but de permettre le déplacement latéral de cet essieu nécessaire pour le passage en courbe. On en trouvera un exemple plus loin (*fig.* 167 et 168). Disons à ce propos qu'il est d'usage de donner une flexibilité plus grande à ces ressorts (on leur retire une feuille par exemple), afin d'éviter les surcharges de l'essieu milieu.

140. Suspension des caisses. — On interpose parfois (*Nord*, *Orléans*, *Midi*), entre la caisse et le châssis, des systèmes élastiques appelés à diminuer les trépidations et la sonorité. On emploie à cet effet le caoutchouc ou des ressorts spirales en acier.

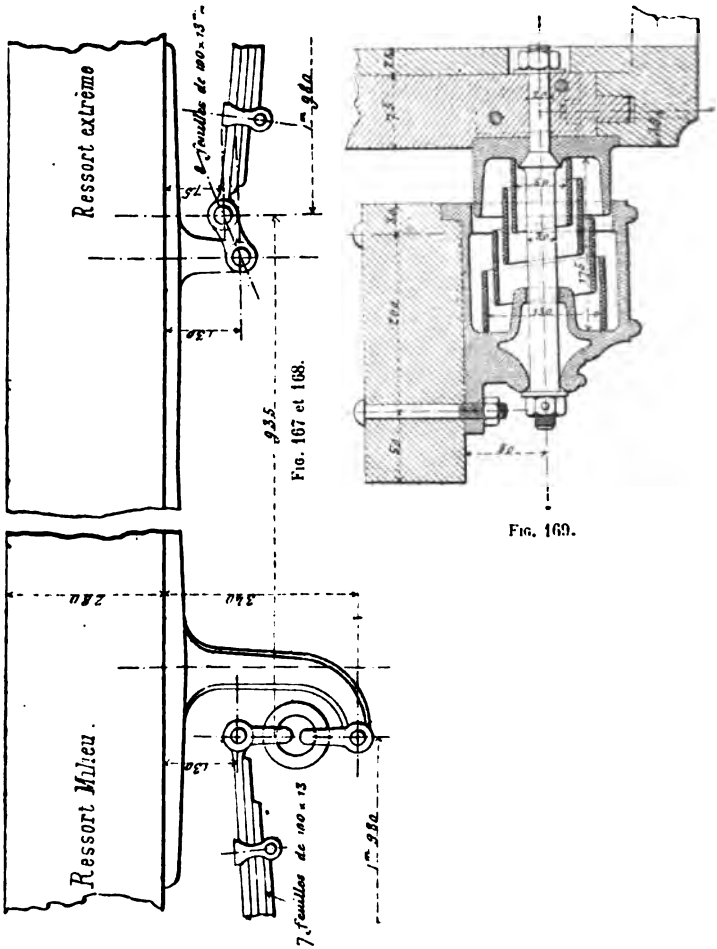
Dans le système employé par la Compagnie d'*Orléans*, la caisse repose sur le châssis, par l'intermédiaire de larges rondelles en caoutchouc appliquées sur des supports spéciaux en fonte fixés extérieurement contre les brancards. Ces supports, au nombre de huit à douze de chaque côté, correspondent au droit des traverses de caisse munies elles-mêmes de plateaux en fonte s'appuyant directement sur le caoutchouc. Le tout est traversé par une broche clavetée reliant, dans les sens longitudinaux et transversaux, la caisse au châssis.

La Compagnie du *Nord* a fait usage du même dispositif, mais préfère aujourd'hui employer des ressorts héliçoïdaux montés sur des supports, comme plus haut. Ce dispositif est représenté sur la figure 169 ; il se comprend à première vue et ne demande aucune description. Les caisses des voitures de 1re classe avec coupés de cette Compagnie sont montées sur dix ressorts semblables. Le réglage de ce genre de suspension est très délicat.

La Compagnie de l'*Ouest* préfère employer des bandes de caoutchouc de 20 millimètres d'épaisseur régnant sur toute la longueur du brancard et des traverses extrêmes.

Les Compagnies de *Paris-Lyon-Méditerranée* et de l'*Est* ont

beaucoup employé de petites plaques en caoutchouc appliquées sur les brancards à l'endroit des traverses de caisse.



141. Plaques de garde. — Les châssis des véhicules de chemins de fer portent sur les côtés des appendices spé-

ciaux dits *plaques de garde* A disposés au droit des essieux (*fig.* 170), présentant la forme d'une fourche et dont les deux branches s'engagent entre les rainures latérales des boîtes à huile.

Elles ont pour but de guider ces boîtes dans les mouvements imprimés au châssis par les oscillations dues à la flexibilité des ressorts de suspension. Elles ne servent à entraîner les essieux que si les menottes des ressorts sont disposées verticalement ou sont supprimées, le brancard reposant directement sur l'extrémité des ressorts. Ce sont, en tous cas, des appareils de sécurité empêchant un déraillement en cas de rupture d'une menotte ou d'un ressort.

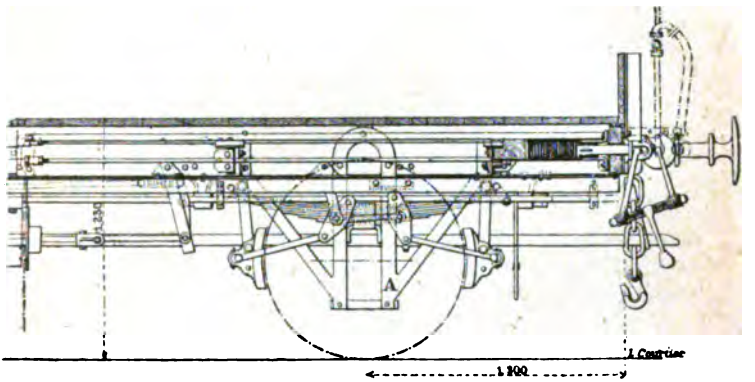


Fig. 170. — Disposition générale de la suspension, etc.

On réserve toujours, entre les joues des boîtes et les branches des plaques de garde, un jeu convenable facilitant le déplacement des essieux dans le passage en courbes. Ce jeu varie de 4 à 6 millimètres dans le sens transversal et de 3 à 10 millimètres dans le sens de la longueur. Le jeu transversal peut atteindre jusqu'à 30 millimètres, pour les boîtes de l'essieu milieu dans les voitures à six roues.

Les plaques de garde sont ordinairement confectionnées en tôle découpée ou en fer forgé et ont une épaisseur de 20 à 25 millimètres.

Les extrémités inférieures des plaques de garde sont réu-

nies par une traverse en fer qui épouse parfois le contour du dessous de boîte.

Les plaques de garde sont réunies aux brancards par des boulons ou des rivets et sont souvent posées sur des cales ayant pour effet d'éviter le découpage, par les branches de la fourche, des ailes horizontales du fer en U ou du fer I constituant le brancard.

142. Boîtes de graissage. — On appelle ainsi les appareils destinés à transmettre aux essieux la charge du véhicule et à les entraîner, à protéger les fusées de la poussière et à les lubrifier. Ces boîtes, généralement en fonte, sont munies, sur leurs faces avant et arrière, de joues en saillie formant des rainures entre lesquelles pénètrent les plaques de garde sur lesquelles elles viennent coulisser.

Ces fonctions multiples ont donné lieu à de nombreuses combinaisons et à une immense variété de modèles, sans que toutefois l'on puisse considérer qu'il n'y ait encore des progrès à réaliser. Il y a lieu d'être satisfait du résultat acquis dès aujourd'hui, car les chauffages sont devenus assez rares, bien que les vitesses et la longueur des parcours effectués sans arrêts n'aient cessé de croître.

Les principales différences que l'on peut relever dans la disposition des divers systèmes de boîtes proviennent avant tout des matières lubrifiantes adoptées: graisse ou huile.

La graisse, employée dès l'origine, a conservé longtemps la préférence sur l'huile dans certains pays, en France et en Angleterre notamment. Elle peut donner de bons résultats, à la condition de surveiller avec soin la confection du mélange qui doit lui donner la fluidité voulue suivant la saison.

L'huile a dès maintenant complètement détrôné la graisse pour les véhicules à voyageurs. Certaines Compagnies, particulièrement en Angleterre, conservent la graisse pour le matériel à marchandises.

On a d'abord employé des huiles végétales, puis des mélanges d'huiles végétales et minérales et, enfin, l'huile minérale pure, qui coûte moins cher. L'huile que l'on emploie le plus aujourd'hui en France pour le graissage des voitures

et wagons est l'huile de naphte noire de Russie. Pour en augmenter la fluidité par les grands froids, la Compagnie de l'*Est* y ajoute 20 0/0 d'huile de schiste.

Boîtes à graisse. — La boîte à graisse présente une grande simplicité ; elle se compose de trois parties principales : le *corps de boîte*, le *coussinet* et le *dessous de boîte*.

Le corps de boîte est surmonté d'un récipient qui contient la graisse destinée à lubrifier la fusée ; il porte également, sur les côtés, les coulisses de glissement des plaques de garde.

Le coussinet, placé directement sur la fusée, est muni de deux larges orifices correspondant à deux ouvertures semblables ménagées dans le fond du réservoir. La graisse, en fondant, traverse ces lumières, se rend dans les pattes d'araignée tracées à la surface externe des coussinets et pénètre ainsi sur la fusée.

Le dessous de boîte s'engage dans le corps de boîte avec lequel il est relié par des boulons ou par les tiges des étriers des ressorts. Il recouvre la fusée, la protège de la poussière et recueille la graisse qui s'écoule de la fusée.

Pour assurer l'obturation de la boîte vers l'arrière, on dispose sur l'essieu, non loin du moyeu, une rondelle en bois ou en feutre qui pénètre dans une rainure creusée sur les deux portions de la boîte et qui s'oppose à l'introduction des poussières.

On trouvera dans les figures 171 et 172 un modèle de boîte à graisse encore employé. Le coussinet est à surface réduite et du type anglais. Il n'est fixé dans la boîte que par un téton venu de fonte avec le pan supérieur et pénétrant à l'intérieur d'un trou semblable du dessus de boîte. Ces coussinets évitent les coincement entraînant souvent des échauffements graves. Dans les véhicules à frein à quatre sabots, en raison de la poussée horizontale, on donne à ces coussinets des joues verticales qui encadrent la fusée vers le haut.

La boîte est en fonte, et le coussinet, en bronze dur ou en métal blanc.

Boîtes à huile. — Les boîtes à huile sont plus compliquées que les précédentes et comportent de très nombreuses

variétés. Nous décrirons la boîte de l'*Est*, qui a donné d'excellents résultats et qui, employée par cette Compagnie depuis 1878, a été imitée par d'autres administrations et peut servir de type général. Ce système comporte un tampon

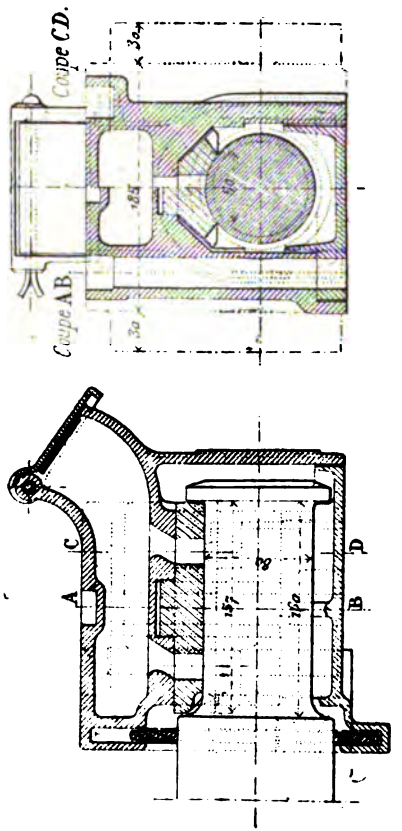


Fig. 171 et 172. — Boîte à graisse.

graisseur placé dans le dessous de boîte, et on n'a prévu aucun mode d'alimentation par le haut. L'huile est amenée au contact de la fusée par le tampon graisseur qui puise, à l'aide de mèches, l'huile contenue dans un réservoir formé

par le dessous de boîte. Le coussinet ne comporte aucune patte d'araignée, de sorte que sa surface n'est pas diminuée.

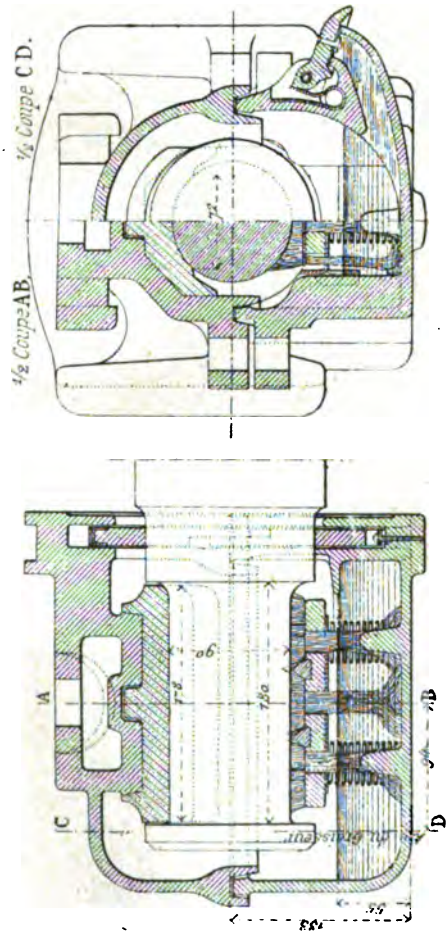


Fig. 173. — Boîte à huile.

Le dessous de boîte (*fig.* 173) est rattaché au corps de boîte par deux boulons, avec joint horizontal à peu près à

mi-hauteur de la fusée ; une bande de cuir disposée dans une rainure assure l'étanchéité. L'obturateur d'arrière se compose d'une rondelle en cuir et drap collés en deux morceaux et à joint croisé. Le tampon graisseur, monté sur une carcasse en bois avec garniture en tôle, est alimenté par des mèches en coton qui plongent dans l'huile et pressé contre la fusée par de petits ressorts à boudin. Un godet latéral, venu de fonte avec le dessous de boîte, sert à l'introduction de l'huile dans le réservoir.

Le coussinet est en métal blanc composé de : 83,33 d'étain, 11,11 d'antimoine, 5,55 de cuivre. Il est à pans ; les deux pans verticaux descendent jusqu'à l'axe de la fusée, afin d'empêcher les déplacements de coussinets lors des manœuvres brusques.

Les boîtes de ce modèle s'adaptent à des fusées ayant un diamètre de 120 millimètres et une longueur de 220 millimètres. On les monte avec un jeu de 10 millimètres dans tous les sens dans les plaques de garde, en ce qui concerne le matériel à voyageurs ; ce jeu est réduit à 5 millimètres dans les wagons.

On trouvera (*fig.* 174 et 175) la boîte à huile du modèle de la Compagnie d'*Orléans*.

Il est intéressant, au point de vue de la facilité des visites, surtout avec les grandes voitures très lourdes, de disposer les coussinets et les fusées de manière à permettre le remplacement des premiers et la visite des secondes sans soulever le véhicule entier. C'est ce que l'on a réalisé dans le système de boîte appliqué par la Compa[illegible] *ans* à sa grande voiture à bogie exposée en 1889 e[illegible] vec certaines modifications par beaucoup de C[illegible] glaises. Les fusées n'ont pas de collet extérieur [illegible] soulever la boîte au moyen d'un vérin de [illegible] s seulement, pour dégager une cale en fonte [illegible] le coussinet et [illegible] dernier. Le réservoi[illegible] obile, il peut [illegible] le tampon grai[illegible] u'il soit néce[illegible] la voiture.

O[illegible] s un grand non[illegible] les, des boît[illegible] pour fonctio[illegible] ment à l'hu[illegible] à la graisse. [illegible] posées

d'un réservoir inférieur muni d'un tampon graisseur, comme

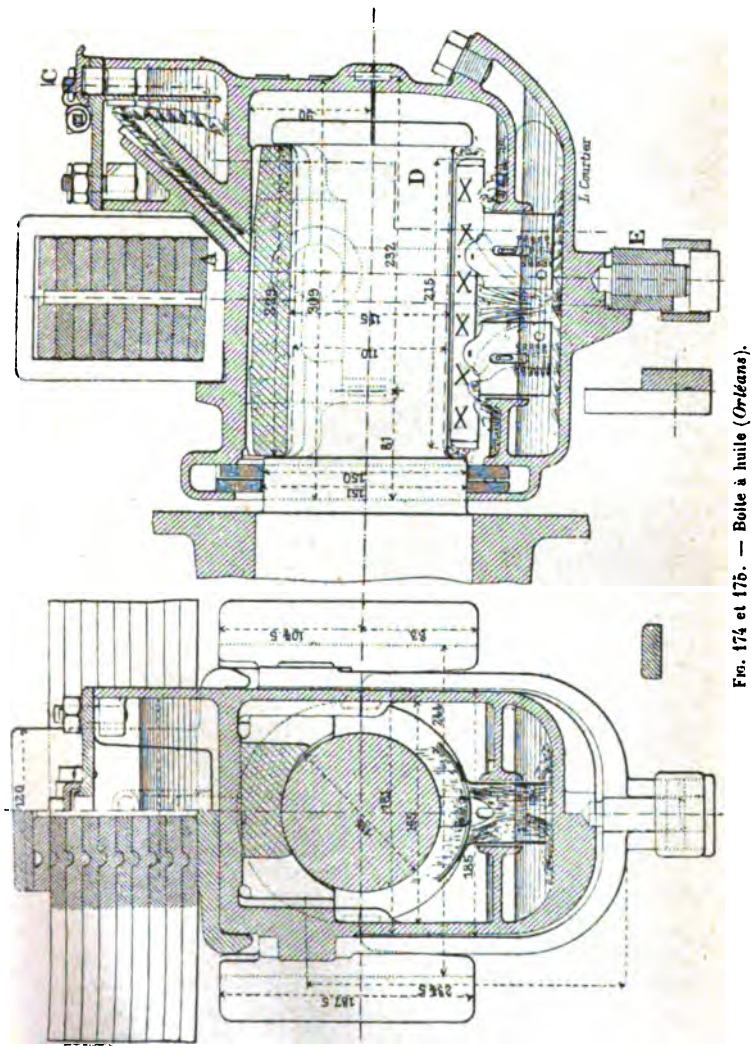


Fig. 174 et 175. — Boîte à huile (*Orléans*).

les boîtes à huile ordinaires, et d'un réservoir supérieur rempli de graisse solide qui ne doit fondre et venir en contact avec la fusée qu'en cas de chauffage prononcé de cette dernière.

En Angleterre, toutes les voitures à voyageurs ont leurs fusées lubrifiées à l'huile, et tous les wagons à marchandises, à la graisse. Aux États-Unis, on n'emploie que l'huile minérale pure ou mélangée à des quantités variables d'huile végétale. On emploie des types de boîtes très simples dans lesquelles l'huile est amenée en contact avec la fusée au moyen de déchets de coton remplissant le réservoir à huile placé en dessous. En Allemagne, on n'emploie plus guère pour tout le matériel que des boîtes à huile.

143. Roues. — Les roues des voitures et wagons de chemins de fer sont calées sur leurs essieux, dont les parties, parfaitement tournées, qui reçoivent les coussinets des boîtes ont reçu le nom de *fusées*.

Les roues ont été, à l'origine, formées d'un moyeu en fonte dans lequel étaient encastrés, pendant la coulée, des bras en fer forgé ou en tôle. Dans le système dit polygonal, les bras se recourbaient à la circonférence et venaient se fixer à la jante au moyen de rivets. Dans le système dit à étoile, que l'on trouve sur une grande partie du matériel de la Compagnie de l'*Ouest*, les bras sont soudés entre eux pour former la jante.

Aujourd'hui, on préfère les roues entièrement en fer, à *rayons* ou à *centres pleins;* les premières, surtout employées pour le matériel à marchandises; les secondes, plutôt pour le matériel à voyageurs.

On trouvera, dans les figures 176 à 180, un type de roues *Arbel* usité par la plupart des Compagnies françaises. Pour fabriquer ces roues, on chauffe uniformément l'ensemble des différents éléments qui les constituent après un montage provisoire et on opère une soudure complète au moyen d'un fort pilon et d'une matrice. Les roues *Brunon*, qui diffèrent peu des précédentes, sont aussi employées par les Compagnies du *Midi* et de l'*Est*. Dans ce système, on obtient la soudure du moyeu avec les rais et la jante en les chauffant,

puis en les plaçant dans une matrice comprimée à l'aide d'une presse hydraulique exerçant un effort de 500 tonnes environ.

Les roues à centres pleins ont été adoptées tout d'abord dans le but d'éviter le soulèvement de la poussière par la ventilation due à l'action des rayons pendant la marche à

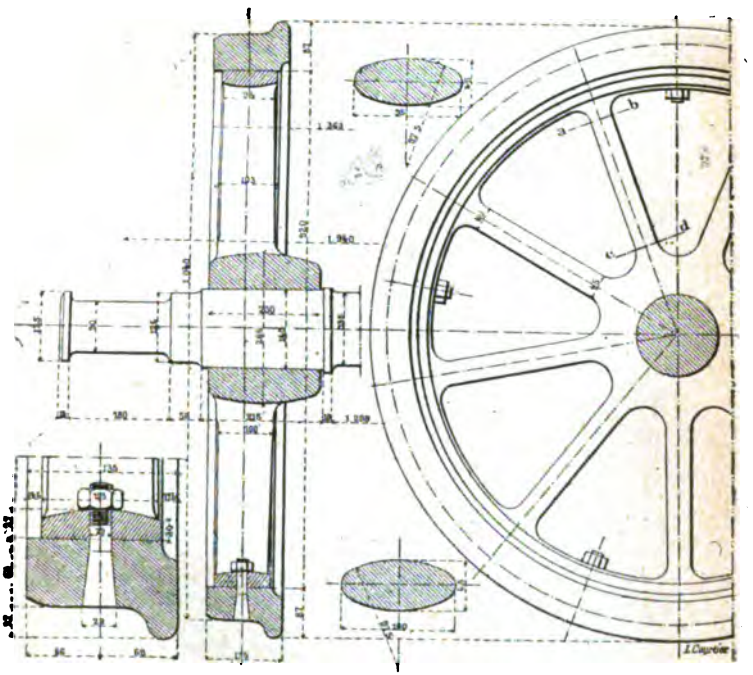


Fig. 176 à 180. — Roue Arbel.

grande vitesse et, jusqu'à un certain point, de diminuer la résistance de l'air. Leur emploi se répand chaque jour; il est absolument général en Angleterre et aux États-Unis; en France, plusieurs Compagnies, celles du *Nord*, de l'*Ouest*, de l'*Orléans* et du *Midi*, l'ont adoptée pour leur matériel à voyageurs.

En France, on emploie depuis longtemps la roue à centre en fer laminé, composée d'un disque simple renflé vers le moyeu (*fig.* 181 et 182); plus récemment, on a adopté des centres ondulés qui offrent une plus grande élasticité (*fig.* 183).

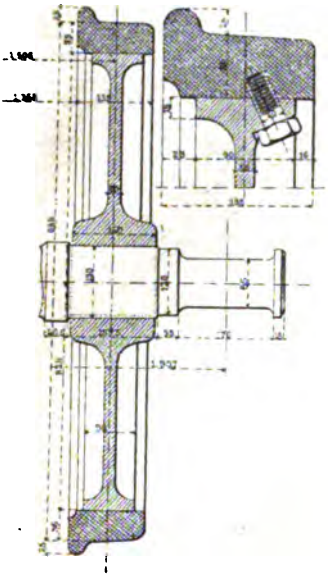


Fig. 181 et 182. — Roue à centre plein

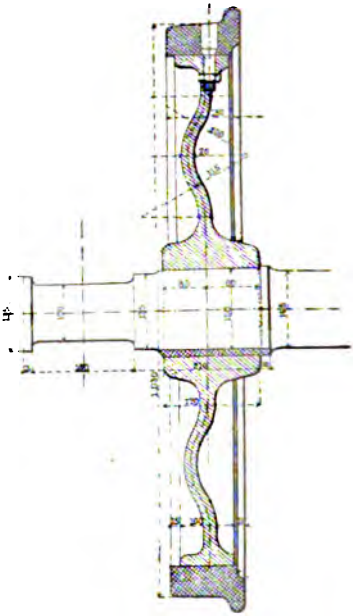


Fig. 183. — Roue à centre ondulé.

Depuis quelques années, on emploie beaucoup les roues pleines à nervures dites *antipoussières*, du système *Arbel*, qui semblent réunir les avantages des roues à rayons et à centres pleins. Ces roues (*fig.* 184) se composent d'une jante, de rayons, d'un moyeu et d'une toile. C'est, en somme, une roue pleine dont la toile est reportée vers l'extérieur, d'un côté, et qui est munie du côté intérieur, de rayons, généralement au nombre de huit, soudés avec l'âme et qui la consolident transversalement en rendant plus complète son attache avec la jante.

Aux États-Unis on n'emploie que des roues pleines en fonte,

trempées en coquille, tout d'une pièce et sans bandages rapportés, pour le matériel à marchandises. Les voitures à voyageurs ont des roues en papier comprimé (brevet *Allen*) avec bandages en acier rapportés. La fabrication des roues en

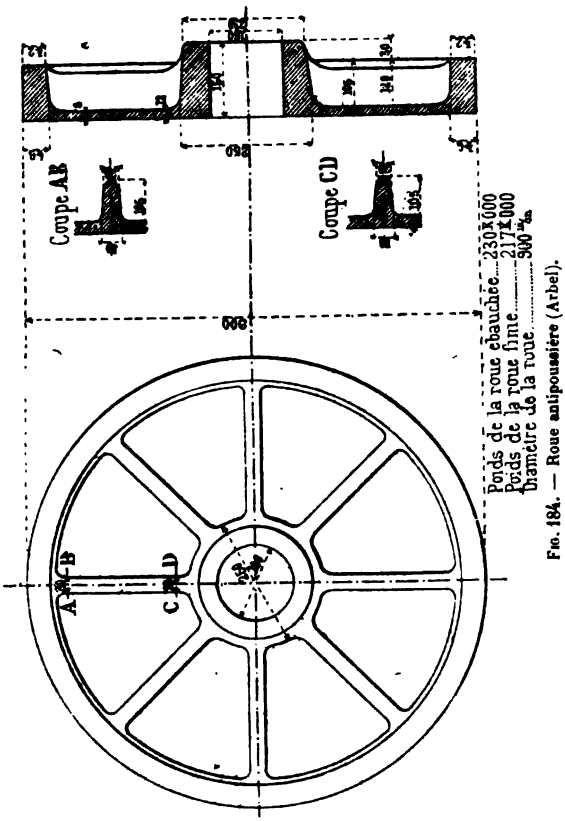


Fig. 184. — Roue antipoussière (Arbel).

fonte a pris dans ce pays un immense développement et a atteint une rare perfection.

Les voitures de toutes les Compagnies anglaises sont montées sur des roues *Mansell;* les centres sont formés de secteurs en bois de teak comprimés entre le bandage et le moyeu et

agrafés par des cercles en fer reliés au moyen de boulons transversaux. C'est une excellente roue, sans sonorité et de roulement assez doux. En France on lui a reproché de ne pas résister à l'action des freins continus, et on lui a préféré les roues entièrement métalliques.

144. Bandages. — Nous renvoyons à ce que nous avons dit sur les bandages au chapitre IV, les bandages des roues

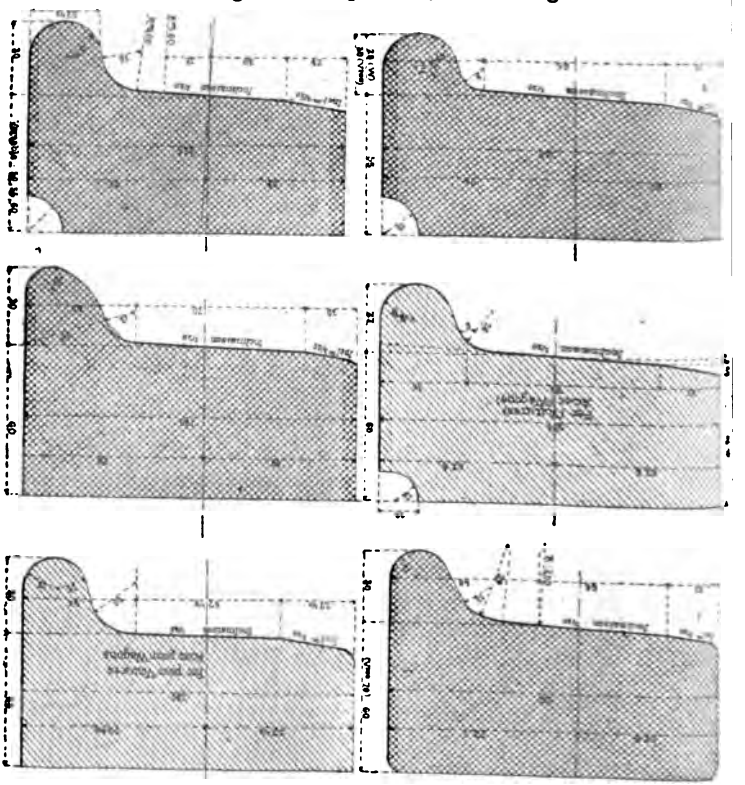


FIG. 185 à 190. — Profils de bandages.

de voitures et wagons ne différant pas, en principe, de ceux des roues de locomotives et ne s'en distinguant guère que

par leurs dimensions absolues et quelquefois leur mode d'attache. On trouvera, dans les figures 185 à 190, le profil des bandages employés par les Compagnies françaises. La largeur des bandages de véhicules varie ordinairement de 125 à 138 millimètres ; leur épaisseur, de 55 à 60 millimètres ; et la saillie de leur boudin, de 25 à 30 millimètres.

Les bandages se sont longtemps faits en fer ; aujourd'hui, l'emploi de l'acier demi-dur est devenu à peu près général. A une plus grande résistance, ce métal joint une dureté qui ui assure une durée plus considérable que le fer.

Les bandages sont fixés sur les corps de roues, tournés extérieurement, par un embattage à chaud assurant par le refroidissement un serrage énergique ; la roue s'appuie latéralement sur le bandage, du côté extérieur, à l'aide d'une saillie circulaire ; l'assemblage est complété à l'aide de vis, de rivets ou de boulons traversant la jante et le bandage ou d'agrafes et de boulons transversaux.

145. Essieux. — Les roues sont réunies deux à deux par un essieu en métal, de section circulaire, présentant, suivant les

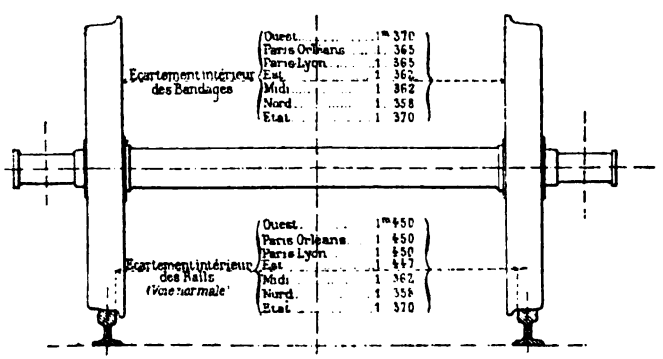


Fig. 191. — Roues montées.

points considérés, des diamètres différents correspondant à trois parties principales : le *corps*, les *portées de calage* et les *fusées* (*fig.* 191 et 192).

Le corps de l'essieu est ou entièrement cylindrique, ou

formé par deux troncs de cône réunis au milieu par une courte partie cylindrique.

L'essieu est emmanché dans les centres des roues, par les portées de calage, sous une pression hydraulique de 25 à 35 tonnes, qui détermine un serrage considérable permettant de ne pas employer de clavettes.

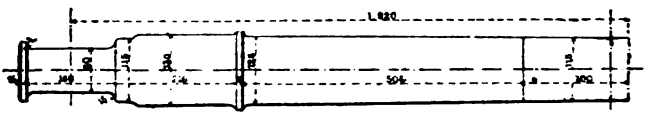


Fig. 192. — Essieu.

Extérieurement aux roues, l'essieu est prolongé par les fusées, qui sont destinées à recevoir la charge des véhicules par l'intermédiaire des boîtes et de leurs coussinets. Le collet extérieur destiné à maintenir le coussinet sur la fusée s'appelle la *patère*.

En ce qui concerne la détermination du diamètre et de la longueur des fusées, nous ne pouvons que renvoyer à ce que nous avons dit à propos des essieux de locomotives. La section maximum est donnée à la portée de calage appelée à résister aux efforts les plus considérables et amaigrie par la rainure destinée à recevoir la clavette quand il y en a une. Le diamètre des fusées est plus faible que celui du corps de l'essieu; la longueur doit être suffisante pour donner une surface frottante assez étendue ; le rapport de sa longueur à son diamètre est ordinairement de 2.

Pour faire face au poids de plus en plus considérable des véhicules, on a dû augmenter progressivement le diamètre des fusées, qui atteint aujourd'hui jusqu'à $0^m,130$.

L'acier doux s'est peu à peu substitué au fer pour la confection des essieux de voitures et de wagons; c'est aujourd'hui le métal adopté dans tous les pays. Les essieux sont soumis, avant leur réception dans les usines, à des essais au choc avec redressement; des éprouvettes de traction sont, en outre, prélevées. La Compagnie de l'*Ouest* spécifie, dans ses cahiers des charges, que l'acier employé pour la fabrication des essieux

devra donner une résistance à la traction de 46 kilogrammes par centimètre carré et un allongement proportionnel de 25 0/0.

146. Dispositions propres à faciliter le passage en courbes. — Quand les voitures sont portées par trois essieux, il est d'usage, pour faciliter leur passage en courbes, de donner un jeu latéral de 25 à 30 millimètres à l'essieu milieu. Si l'écartement des essieux extrêmes dépasse une certaine limite, le passage dans des courbes d'un rayon donné n'est plus possible, et, pour permettre au matériel de circuler dans ces courbes ou dans le but d'accroître la longueur et la stabilité des véhicules, on doit avoir recours au truck articulé ou bogie usité aux États-Unis, aussi bien pour le matériel à marchandises que pour le matériel à voyageurs.

En principe, le truck articulé se compose d'un petit châssis porté par deux essieux parallèles dont l'entr'axe est inférieur à celui des plus courtes voitures. La caisse repose, par ses deux extrémités, suivant son axe longitudinal, sur les pivots placés au centre de ces trucks et autour desquels ceux-ci sont libres d'osciller dans le plan horizontal. Les bogies peuvent donc se déplacer angulairement par rapport à la caisse de la voiture, et le passage en courbes s'opère facilement. Le rayon minimum des courbes que le véhicule peut traverser sans danger est limité, non par l'empattement total, mais par celui des essieux de chaque bogie, qui est très faible, nous l'avons vu. Une voiture montée sur trucks ayant, par exemple, 20 mètres de longueur totale, peut circuler dans les courbes de même rayon que des wagonnets de terrassement. C'est incontestablement un fort grand avantage du truck articulé, mais ce n'est pas le seul, nous le verrons ailleurs.

Les trucks se font à deux ou à trois essieux. Toutes les voitures Pullmann en usage aux États-Unis : wagons-lits, wagons-restaurants, salons, etc., sont montées sur des trucks à six roues d'un type analogue à celui qui est représenté par les figures 193 à 195.

Les longerons du truck, en bois, portent des plaques de garde pour les boîtes des trois essieux et, entre celles-ci, des entretoises guidant deux traverses dansantes suspendues par

des ressorts à pincettes et des menottes au châssis du truck. Ces traverses supportent la caisse par l'intermédiaire d'une

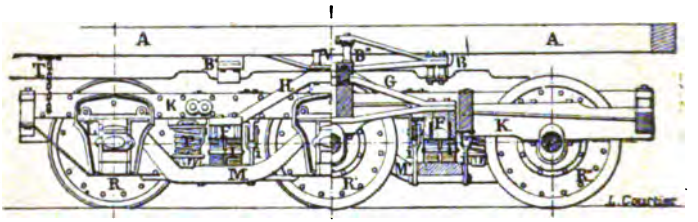


Fig. 193.

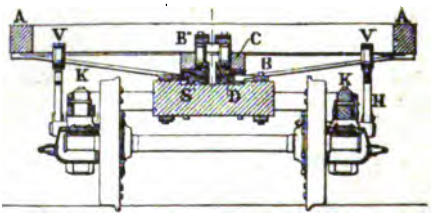


Fig. 194.

rapaudine placée au centre et qui leur est réunie par des

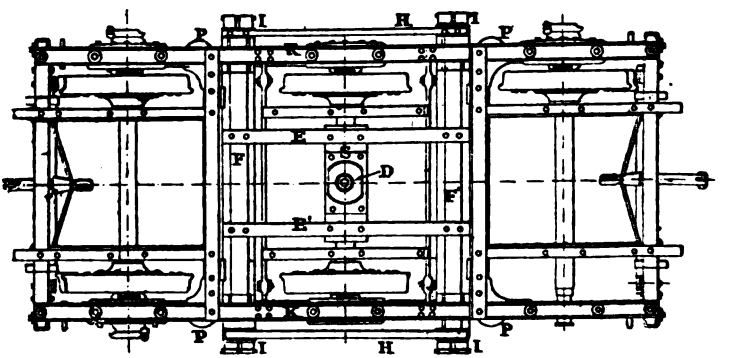


Fig. 195. — Truck américain

poutrelles longitudinales. A son tour, le châssis du truck est supporté par les boîtes, non directement, mais par l'intermé-

diaire de balanciers longitudinaux en fer et de ressorts héliçoïdaux constituant une double suspension. Le jeu latéral des traverses dansantes, permettant un léger déplacement transversal du truck par rapport à son pivot, est limité par leur butée contre les longerons du bogie.

Les trucks à deux essieux sont de construction analogue, mais plus simple.

Les trucks articulés usités en Europe appartiennent souvent à ce type, dit américain, et dont la caractéristique consiste dans la suspension effectuée au moyen de ressorts à pincettes placés en travers et dans la transmission des efforts aux boîtes par l'intermédiaire de balanciers latéraux, le châssis du truck ne servant plus qu'à maintenir l'écartement des essieux. Toutefois, on emploie aussi beaucoup de trucks constitués comme les véhicules ordinaires et suspendus à l'aide de quatre ressorts ordinaires placés comme d'habitude au-dessus des boîtes à huile.

147. Caisses des voitures à voyageurs. — La figure 196 représente le squelette d'une caisse de voiture de première classe, qui peut donner une idée générale du mode de construction usité. Les pieds des montants s'assemblent dans un cadre dont les longerons, appelés brancards de caisse, sont réunis par les traverses espacées d'environ $0^m,70$ de bord à bord. Les assemblages sont constitués par des équerres et des boulons. Les traverses supportent un plancher en voliges assemblées à rainures et languettes, affleurant la face supérieure du cadre. Dans beaucoup de voitures récentes, le plancher est double, afin de diminuer le bruit et d'éviter la pénétration, à l'intérieur de la caisse, des poussières soulevées sur le ballast.

Les panneaux extérieurs, sur tout le continent européen, se font en tôle mince bien dressée, mastiquée et peinte. En Angleterre, on préfère les panneautages en bois d'acajou ou de teak que l'on vernit parfois simplement, mais que, le plus souvent, on peint. Le système de panneautage adopté suffit pour donner aux voitures des aspects très différents. La voiture anglaise comporte, à la partie supérieure, au-dessus de la ceinture qui est placée très bas, une série d'encadrements

motivés pa. la faible largeur qu'ont les bois du commerce. Les joints des panneaux sont recouverts par de grosses baguettes arrondies et chevillées.

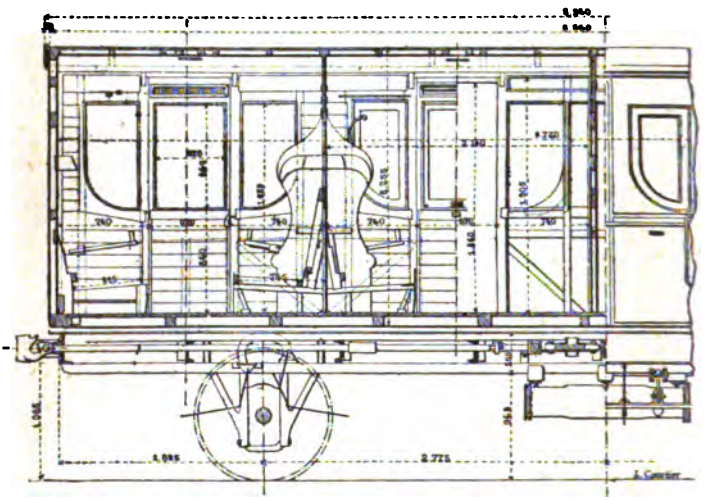


Fig. 196. — Charpente de la caisse.

Les pavillons des voitures sont en voliges de 15 millimètres environ, assemblées à rainures et languettes, fixées sur des courbes de pavillon et recouvertes de zinc ou de toile caoutchoutée collée à la céruse.

Les caisses des voitures du type européen sont munies de portières latérales, croisées à droite et à gauche pour se présenter toutes dans le même sens quand les voitures sont, à l'aide des plaques, tournées bout pour bout.

Aux États-Unis et dans quelques contrées de l'Europe, en Suisse particulièrement, on accède aux caisses par des plates-formes placées dans les bouts. La partie basse des caisses, n'étant pas découpée par les baies des portières, peut être renforcée de manière à remplacer les brancards. Les voitures américaines n'ont pas de châssis; la caisse repose directement sur les trucks (*fig.* 197).

La partie inférieure de la caisse, de chaque côté, constitue une véritable poutre à treillis en bois, consolidée par des tirants et une contrefiche placée au milieu. Ce système de construction a été suivi pour la plupart des véhicules à bogies de la *Compagnie Internationale des Wagons-Lits.*

Une disposition analogue a été employée pour la grande voiture à intercirculation exposée, en 1889, par la Compagnie d'*Orléans*, avec cette différence que le châssis, qui fait corps avec la caisse, est entièrement en acier. Il se compose de deux poutres de résistance formées chacune par une tôle

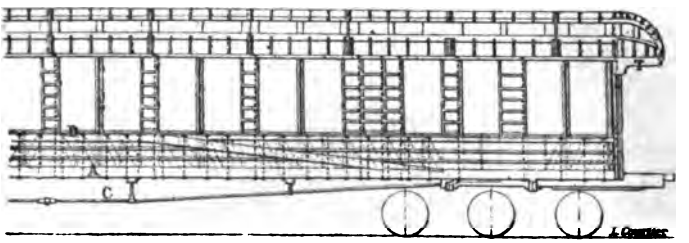


Fig. 197. — Charpente de la caisse d'une voiture américaine.

continue de 5 millimètres d'épaisseur, de 17^{m},05 de longueur et de 1^{m},13 de hauteur, qui forme le panneautage extérieur de la caisse, dans la partie basse. La partie inférieure de la poutre est renforcée par un fer à U de 175 millimètres de hauteur, et la partie supérieure par une double ceinture formée d'un fer à U à l'intérieur et d'une moulure au dehors.

On retrouve une disposition à peu près identique sur de nouvelles voitures à bogies du *Gothard.*

148. Caisses du matériel à marchandises. — Les caisses des wagons à marchandises fermés et des fourgons sont ordinairement en bois et constituées par des brancards de caisse et des montants sur lesquels se fixent les courbes de pavillon et les panneaux extérieurs. Ils sont ordinairement munis de portes à coulisse.

On commence, en France, en Belgique, en Allemagne, à constituer la charpente principale des caisses de wagons, de fers profilés. Quelquefois même les frises ou les panneau-

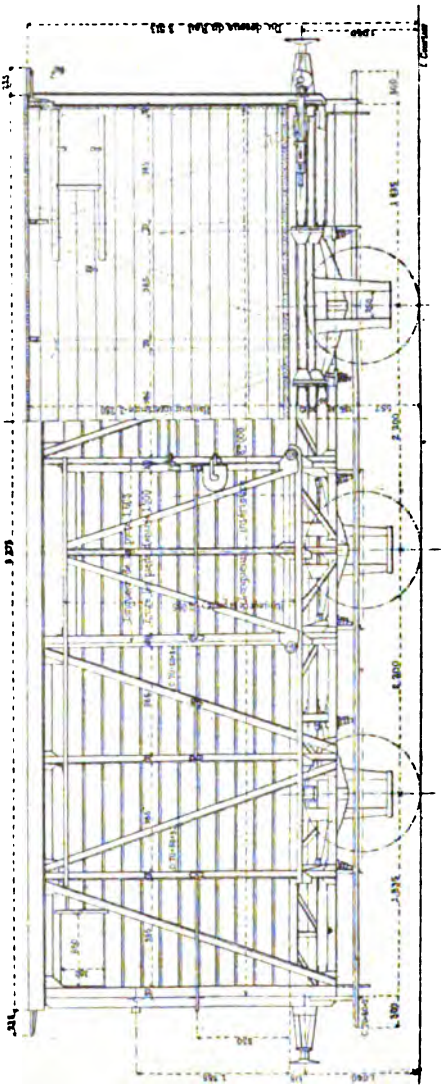


FIG. 198. — Wagon couvert à ossature métallique (*Ouest*).

tages, du moins en ce qui concerne les wagons plats, sont en tôle.

Comme exemple de ce mode de construction, nous citerons le wagon couvert pour le transport de la messagerie, récemment construit pour la Compagnie de l'*Ouest* (*fig.* 198). Les montants sont en cornières, sauf au droit des portes, où ils sont constitués par des fers à **T**. Tous les montants sont attachés à une cornière supérieure, formant battant de pavillon. Entre les montants, des diagonales en cornières s'opposent à la déformation des angles droits.

Les montants des bouts s'attachent en haut sur des cornières cintrées suivant la courbure des pavillons. Les courbes de pavillon sont en fers à **U**.

Le plancher, les frises des côtés et celles du pavillon sont en bois.

CHAPITRE III

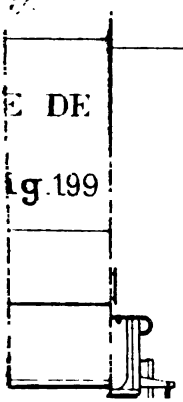
DESCRIPTION DE QUELQUES TYPES DE VOITURES

Il nous paraît intéressant, comme nous l'avons fait pour les locomotives, de compléter ce que nous avons dit plus haut par la monographie de quelques voitures intéressantes propres à donner une idée du matériel moderne français et étranger.

149. Nouvelles voitures à intercirculation de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée[1] (*fig.* 199 et 200, Pl. VII). — La Compagnie *Paris-Lyon-Méditerranée* a mis en service, dans les derniers mois de 1892, des voitures de 1re et de 2e classes d'un nouveau type, à couloir, au moyen desquelles elle forme des trains complets, dans lesquels on peut circuler à couvert d'un bout à l'autre et accéder en cours de route soit au wagon-restaurant, quand il y en a un, soit aux water-closets.

Les nouvelles voitures ont trois essieux indépendants. La voiture de 1re classe ne renferme que quatre compartiments, et celle de 2e classe cinq compartiments, ce qui, avec le water-closet et le couloir transversal donnant accès à chaque passerelle de communication, a conduit à des caisses de $10^m,550$ de long pour la 1re classe, et de $10^m,960$ pour la 2e classe. L'écartement des essieux extrêmes est de $7^m,200$ pour la 1re classe, et $7^m,250$ pour la 2e classe. Malgré ce grand écartement, les essieux extrêmes n'ont aucun jeu transversal, et ils n'ont de jeu longitudinal que celui permis par la mobilité des manilles de suspension et par le jeu de 5 millimètres existant entre les plaques de garde et les boîtes à

[1] Voir la note de M. l'ingénieur en chef Ch. Baudry, *Revue générale des Chemins de fer*, numéro de juillet 1893.



Pl.VII Page 358 bis.

OF

lo
pa
à

Pa
pa
de
nc
tr
bo
re

vo
et
va
pa
10
2e
po
éc
sa
m

huile. L'essieu milieu a, de plus, un jeu transversal de 30 millimètres au total. Dans ces conditions, les voitures ont une excellente base d'appui sur la voie ; elles sont très stables et s'inscrivent cependant sans aucune difficulté et sans excès de résistance dans les courbes de 250 et de 300 mètres de rayon, qu'on rencontre sur plusieurs lignes assez importantes du réseau *Paris-Lyon-Méditerranée.*

Les quatre ou cinq compartiments que renferme chaque voiture ouvrent sur un couloir latéral qui s'étend d'un bout à l'autre et se retourne à chaque extrémité pour rejoindre les passerelles de communication placées dans l'axe de la voiture. A l'une des extrémités de la voiture, le retour du couloir conduit au water-closet.

Il y a, de chaque côté de la voiture, autant de portières extérieures que de compartiments ; celles d'un côté donnent directement dans les compartiments, les autres donnent dans le couloir en face de chaque compartiment. La caisse a, d'ailleurs, été faite aussi haute que le permettaient les gabarits du *Nord* français et des lignes suisses sur lesquelles ces voitures sont appelées à circuler assez fréquemment.

Les compartiments de 1re classe sont de six places. Ils sont garnis en drap gris noisette, avec frises et plafond en érable. Chaque banquette est formée d'un seul sommier élastique et d'un seul coussin pour les trois places ; mais chaque place est séparée de la voisine par un appuie-tête et un accoudoir. Les banquettes, montées sur bielles, peuvent être éloignées des dossiers pour la nuit. Des baies de grande dimension donnent, d'un côté, sur le couloir et, de l'autre, au dehors. Vers l'extérieur, la baie de portière a un châssis de glace mobile qui s'efface par en bas, suivant la méthode ordinaire ; les baies de côté, au contraire, sont fermées par des glaces fixes sur presque toute leur hauteur ; à leur partie supérieure seulement, elles ont un châssis mobile qui s'efface verticalement vers le haut en pénétrant dans la frise. Du côté du couloir, toutes les baies ont des châssis de glace de toute leur hauteur.

Les compartiments de 2e classe sont de huit places. Ils sont garnis en drap bleu, avec frises et plafond en toile cirée de couleur claire. Leurs baies, de grandes dimensions, ont leurs châssis de glace disposés comme ceux des compartiments de 1re classe.

Le couloir et le water-closet sont en acajou pour la 1re classe et en pitchpin pour la 2e classe.

L'éclairage se fait au gaz d'huile. Les lanternes, dans les compartiments de 1re classe sont à récupération. Les réservoirs à gaz sont placés sur la toiture.

Il n'y a pas d'appareils de chauffage fixes. Le chauffage se fait au moyen de bouillottes mobiles, dont le service est rendu facile par les portières ouvrant en face de chaque compartiment.

Le châssis et la caisse de la voiture forment deux parties de construction distincte.

La caisse, construite en bois et panneautée extérieurement en tôle d'acier, repose sur le châssis par l'intermédiaire de cales, en bois pour la 2e classe, et en caoutchouc pour la 1re classe.

Le châssis, entièrement en fer, repose sur les essieux par l'intermédiaire de ressorts de 2m,510 de long.

L'attelage est à balancier, du système Chevalier et Rey, qui est employé d'une manière générale sur le matériel à voyageurs de la Compagnie *Paris-Lyon-Méditerranée*.

Les essieux ont des fusées de 100 millimètres de diamètre sur 220 millimètres de longueur.

Les roues sont du système Arbel, dit antipoussière, avec bandages en acier d'Allevard.

Enfin, les nouvelles voitures sont munies du double frein à air comprimé, automatique et modérable, système Westinghouse-Henry, et de l'intercommunication pneumatique, permettant aux voyageurs de faire appel au mécanicien par l'intermédiaire de la conduite du frein automatique, mais sans que le voyageur puisse lui-même produire l'arrêt du train.

Le poids des voitures de 1re et de 2e classes, à vide, est de 16 tonnes environ. Le nombre des voyageurs qu'elles peuvent recevoir étant respectivement de 25 et de 41, en comptant la place isolée dans le couloir, il en résulte un poids mort par voyageur de 644 kilogrammes pour la 1re classe, et de 392 kilogrammes pour la 2e classe.

La majorité du public paraît, pour les voyages de nuit, plutôt favorable à un autre type de voitures que la même Compagnie a mis en service à peu près en même temps que celles à couloir. Ces voitures ont quatre compartiments, communiquant deux à deux par un passage sur lequel ouvre un water-

OF

Pl. VIII. Page 361 bis

closet. Chaque compartiment peut s'isoler du voisin au moyen d'une porte munie de verrous; on y a directement accès de l'extérieur par une des portières latérales.

Comme les voitures à couloir, les nouvelles voitures à compartiments conjugués sont montées sur trois essieux; l'écartement des essieux extrêmes est de 7m,250. La suspension, les attelages et les châssis, en général, sont, d'ailleurs, semblables à ceux des voitures à couloir.

Le poids de ces voitures, à vide, est de 15T,7 environ; elles présentent un poids mort par voyageur de 560 kilogrammes.

150. Nouvelles voitures de 1re classe à intercirculation de la Compagnie d'Orléans[1] (*fig.* 201 et 202, Pl. VIII). — Pour assurer le service des trains rapides de jour de la ligne de Paris à Bordeaux, cinq grandes voitures de 1re classe à 42 places, à couloir latéral et montées sur trucks, ont été construites en 1889.

Une de ces voitures a figuré à l'Exposition universelle. Elle comprend sept compartiments ayant accès sur un large couloir latéral, renferme 42 places et contient deux cabinets-lavabos, un pour les dames, un pour les hommes.

Le châssis, qui, à proprement parler, fait corps avec la caisse, est entièrement en acier; il se compose essentiellement de deux poutres de résistance dont chacune est formée d'une tôle de 5 millimètres d'épaisseur, de 1m,05 de longueur et de 1m,127 de hauteur.

Ces poutres, renforcées par des pièces en acier en L et des moulures formant bandeau, sont reliées entre elles par des armatures également en acier qui enveloppent complètement la caisse.

Le mode de construction suivant une forme tubulaire donne à la voiture une grande rigidité dans tous les sens.

La caisse repose sur deux trucks à deux essieux par l'intermédiaire d'une double suspension composée de six ressorts à lames, disposés parallèlement aux longerons; ces ressorts sont de même longueur, par conséquent isochrones, et donnent à l'allure de la voiture une grande régularité.

[1] Pour plus de détails, voir une note de M. l'ingénieur en chef E. Polonceau. *Revue générale des Chemins de fer*, numéro de janvier 1895.

Ces voitures sont très appréciées du public ; aussi a-t-on résolu la construction de voitures analogues permettant de composer entièrement les trains rapides de jour de la ligne de Paris à Bordeaux avec des voitures à intercirculation donnant la communication directe avec le wagon-restaurant ; mais, pour diminuer le poids mort et rendre plus complète l'utilisation des voitures suivant l'affluence des voyageurs, on a, tout en conservant le même principe de construction, réduit leur longueur et diminué le nombre des compartiments. Les trucks ont été supprimés, et les voitures reposent sur deux essieux seulement, sans l'intermédiaire de châssis.

Deux types de ces voitures ont été construits dans les ateliers de la Compagnie et sont actuellement en service.

Le premier type contient 27 places et comprend quatre compartiments de 1re classe à 6 places, un coupé à 3 places et lavabo-water-closet à la disposition de tous les voyageurs.

L'autre type contient 21 places ; il comprend trois compartiments de 1re classe, un coupé-lits-toilette à 3 places avec lavabo-water-closet spécial et un lavabo-water-closet pour les autres voyageurs.

Les dimensions principales des caisses sont les suivantes :

		Voitures de 1re classe avec	
		Coupé	Lits-Toilette
Longueur de la caisse, non compris les plates-formes..		11m,264	10m,670
Longueur maximum de la caisse.....		3 ,108	3 ,108
Nombre de compartiments.....		5	4
Nombre total des places.....		27	21
Nombre de cabinets de toilette.....		1	2
Poids total pour la voiture à vide....		14.700 kil.	14.000 kil.
Poids mort	par voyageur de 1re classe	525	525
	— de lits-toilette	»	1.550
	— de coupé.....	720	»
Dimensions du couloir	Longueur.....	11m,164	14m,570
	Largeur	758mm	758mm
Hauteur du plafond au milieu de la caisse.....		2m.250	2m,250

La disposition intérieure de ces voitures est analogue à celle des voitures à trucks construites en 1889.

Un large couloir met en communication les compartiments et reçoit le jour de l'extérieur par des baies vitrées semblables à celles des compartiments; dans ce couloir sont placés trois strapontins et le bouton d'alarme d'intercommunication électrique du type ordinaire de la Compagnie.

Les plates-formes sont complètement fermées; elles donnent accès au couloir, au cabinet de toilette et aux passerelles de communication ; l'une d'elles contient la commande du frein à main.

Les passerelles sont entourées par un soufflet en cuir, fermé de toutes parts ; les voyageurs peuvent donc passer d'une voiture à l'autre pendant la marche sans être incommodés par les courants d'air ou la poussière.

A l'une des extrémités de chaque voiture se trouve le lavabo-water-closet à la disposition de tous les voyageurs ; le lavabo, fixé sur l'une des cloisons verticales, est à rabattement. Des porte-chapeaux, une glace et un casier à serviettes complètent l'installation du cabinet, dont les parois sont tendues d'une toile cirée.

L'eau nécessaire aux divers besoins est contenue dans des réservoirs en cuivre étamé placés au-dessus du pavillon ; ceux qui renferment l'eau destinée à la toilette ont une fermeture hermétique à ressort avec joint en caoutchouc, pour éviter l'introduction des poussières.

L'intérieur des compartiments, ainsi que les parois du couloir et des plates-formes, sont tendus en drap noisette de la nuance en usage pour les compartiments de 1re classe.

Les 6 places contenues dans un compartiment sont séparées par des accoudoirs mobiles, les sièges sont munis d'un mécanisme spécial permettant de les tirer de façon à en augmenter la profondeur et à les transformer à peu près en fauteuils-lits ; leur largeur est supérieure de 6 centimètres environ à celle des voitures ordinaires de 1re classe, ce qui permet aux voyageurs de s'installer plus commodément.

Dans chaque compartiment se trouvent, du côté de l'intérieur, deux larges baies de 680 × 810 surmontées par des glaces dormantes de 680 × 260 donnant au compartiment toute la clarté désirable.

Les baies sont fermées par des châssis de glace garnis de velours noir ; une clé mobile, appliquée par un ressort sur les côtés du châssis, s'oppose au passage de l'air.

Du côté du couloir chacun des compartiments est fermé par une porte roulante vitrée suspendue par le haut et guidée à la partie inférieure par un rail en forme de I.

Des deux côtés de la porte roulante se trouvent des glaces fixes.

Toutes les fenêtres des compartiments sont munies de rideaux; celles du couloir et des plates-formes sont munies de stores. Des filets pour les petits colis, et d'autres plus petits pour les cannes, parapluies, etc..., sont disposés au-dessus des dossiers des sièges; entre ces dossiers, et les filets on a placé une glace miroir très étroite qui ajoute encore à la clarté des compartiments sans gêner les personnes qui sont assises. Le compartiment du coupé présente les mêmes dispositions générales que les compartiments de 1re classe, mais il renferme un lavabo à rabattement et trois armoires à linge disposées sur la cloison verticale ; sur cette cloison sont également fixés quatre porte-chapeaux, trois petites tablettes mobiles, et trois strapontins, ou appuie-pieds.

Le compartiment à lits-toilette contient 3 places qui, le jour, présentent l'aspect de fauteuils confortables et peuvent être transformés pour la nuit, par le simple rabattement du dossier, en lits constitués par un sommier élastique, un matelas et pourvus de traversin et d'oreiller.

La largeur des voitures est telle que, malgré le couloir latéral, il a été possible de conserver aux lits les dimensions de ceux des autres voitures à lits.

Les baies de custode sont munies de doubles rideaux en drap qu'on peut boulonner pour éviter les courants d'air.

Le compartiment communique directement avec un cabinet-lavabo-water-closet semblable à celui qui existe dans les voitures à lits-toilette. La toilette est fixe, avec dessus en teak verni; des armoires contiennent le linge et les objets de toilette nécessaires.

Ce cabinet renferme également deux pliants en moquette accrochés aux cloisons et deux coussins pour l'usage personnel des voyageurs du compartiment à lits.

L'aération des voitures est obtenue au moyen de ventilateurs à lames placés dans le couloir et entre les deux grandes baies qui éclairent chaque compartiment; celle des cabinets-water-closet, au moyen du ventilateur *Torpille*.

Des doubles plafonds et des doubles planchers garantissent les voyageurs du froid et de la chaleur, et diminuent le bruit qui résulte de la marche.

Le chauffage à vapeur, sans pression, système Bourdon, est appliqué à ces voitures.

Le couloir est chauffé par le tuyau du poêle autour duquel on a ménagé une circulation d'air; de plus, une double enveloppe remplie de laine de scorie, protège la charpente des inconvénients pouvant résulter d'un trop fort chauffage.

L'éclairage des compartiments, plates-formes, couloirs et cabinets de toilette est obtenu au moyen de la lampe Shallis et Thomas, d'un usage courant à la Compagnie.

La partie inférieure de la caisse de la voiture tient lieu de châssis et est construite entièrement en acier ; elle est constituée essentiellement par deux poutres de résistance dont chacune est formée d'une tôle d'acier de $3^{mm},5$ à 4 millimètres d'épaisseur, ayant une longueur de $11^{m},264$, et une hauteur de $1^{m},028$.

La partie supérieure des poutres est renforcée par une double ceinture formée, du côté de l'intérieur, par une pièce en acier L et, du côté extérieur, par une moulure en acier formant bandeau.

La partie inférieure est rivée du côté intérieur sur une pièce en acier L de $160 \times 60 \times 5,5$, constituant le brancard de la caisse, et porte extérieurement une plate-bande de 170×5.

Les poutres forment le revêtement extérieur de la voiture dans toute la partie située en dessous des fenêtres; elles sont reliées à tous les montants en bois et aussi à des armatures en acier qui enveloppent complètement la caisse.

Des plaques de feutre sont placées sous la caisse pour amortir les vibrations en isolant le plancher des compartiments des parties métalliques.

Les traverses extrêmes L, de $250 \times 80 \times 10$, et les traverses intermédiaires L, de $160 \times 60 \times 5,5$ et I de $160 \times 90 \times 6,5$,

sont fixées aux brancards des châssis par des équerres en acier; de larges goussets en tôle de 3 millimètres d'épaisseur consolident l'ensemble.

Le mode de construction adopté pour ces voitures, qui est le même que celui usité pour les voitures à trucks, leur donne une grande rigidité, en évitant l'emploi d'armatures extérieures; il est à remarquer, d'ailleurs, que les poutres sont disposées de manière à résister, non seulement à la flexion verticale, mais encore aux efforts horizontaux pouvant résulter des chocs violents et des coups de tampons.

Les dimensions principales des voitures sont les suivantes :

	Voitures de 1re classe avec	
	Coupé	Lits-Toilette
Longueur en dehors des tampons.....	13m,836	13m,242
— des traverses extrêmes.....	12 ,664	12 ,070
— des tôles de résistance.....	11 ,264	10 ,670
— des traverses extrêmes.....	2m,220	
Ecartement d'axe en axe des brancards	3 ,040	
Nombre d'essieux.....	2	
Ecartement des essieux.....	7m,200	7m,000

Les essieux de ces voitures sont en acier spécial au creuset.

Les ressorts sont également fabriqués en acier au creuset.

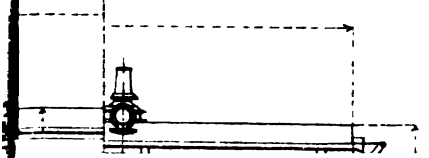
Les boîtes d'essieux du type ordinaire à étrier permettent la prompte visite du dessous de boîte ; elles en diffèrent seulement par la substitution de l'acier moulé à la fonte et par la suppression du graissage supérieur.

151. **Voiture mixte du Great-Western Railway.** — Comme exemple de la construction anglaise, nous citerons les nouvelles voitures à bogie du *Great-Western Railway*, dont on trouvera, dans les figures 203 et 204, une élévation et un plan.

Les voitures de ce type, dont les caisses présentent une longueur totale de 17m,70, sont portées par deux trucks à quatre roues, à grand empattement; écartement des essieux de chaque truck, 3m,03; empattement total, 14m,63. La largeur des caisses est de 2m,61 à la ceinture; les vigies latérales donnent une largeur totale de 2m,88. Au centre, le

MIX

Pl.IX. Page 366bis.



OF

pavillon, sur toute sa longueur, est muni d'un lanterneau qui porte à 2m,66 la hauteur de la caisse.

Cette voiture comporte : un compartiment à bagages avec siège et vigie pour le conducteur ; quatre compartiments de 3e classe communiquant entre eux par un couloir latéral avec deux lavabos-water-closet, l'un pour les hommes, l'autre pour les femmes; un compartiment de 2e classe isolé, mais communiquant avec un lavabo spécial ; un compartiment de 1re classe pour fumeurs, avec lavabo. Les compartiments des différentes classes, le compartiment des fumeurs et celui du conducteur sont séparés par des cloisons transversales. Il n'existe de couloir que par le travers des compartiments de 3e classe.

Les compartiments de 1re classe sont garnis en moquette, ceux de 2e en velours de laine, et ceux de 3e en reps. Dans les compartiments de 1re et de 2e classes, les frises sont garnies de moulures en chêne verni avec baguettes dorées, encadrant des panneaux de Lincrusta Walton ; dans les 3e classes, les frises sont décorées par des moulures et des panneaux rapportés en acajou verni.

Le panneautage extérieur de la caisse est entièrement en bois avec moulures et baguettes. La partie basse de la caisse est peinte en brun ; la partie située au-dessus de la ceinture est peinte en blanc crème. Les bords des baguettes sont dorés ; le tout est d'un très bel effet.

Cette voiture est disposée pour recevoir 9 voyageurs de 1re classe, 7 de 2e et 32 de 3e. Elle est éclairée au gaz et comporte le frein à vide automatique.

152. Nouvelle voiture à voyageurs des chemins de fer hollandais (*fig.* 205 et 206, Pl. IX). — Cette belle voiture, portée par six roues, mesure 13m,065 de longueur totale, avec un empattement de 8 mètres. La caisse est divisée en cinq compartiments, dont deux de 1re classe et trois de 2e classe, communiquant avec un couloir latéral qui donne accès à un water-closet.

Les boîtes ont, dans leurs plaques de garde, un jeu de 10 millimètres dans le sens longitudinal et de 14 millimètres transversalement, ce qui permet à la voiture, malgré son

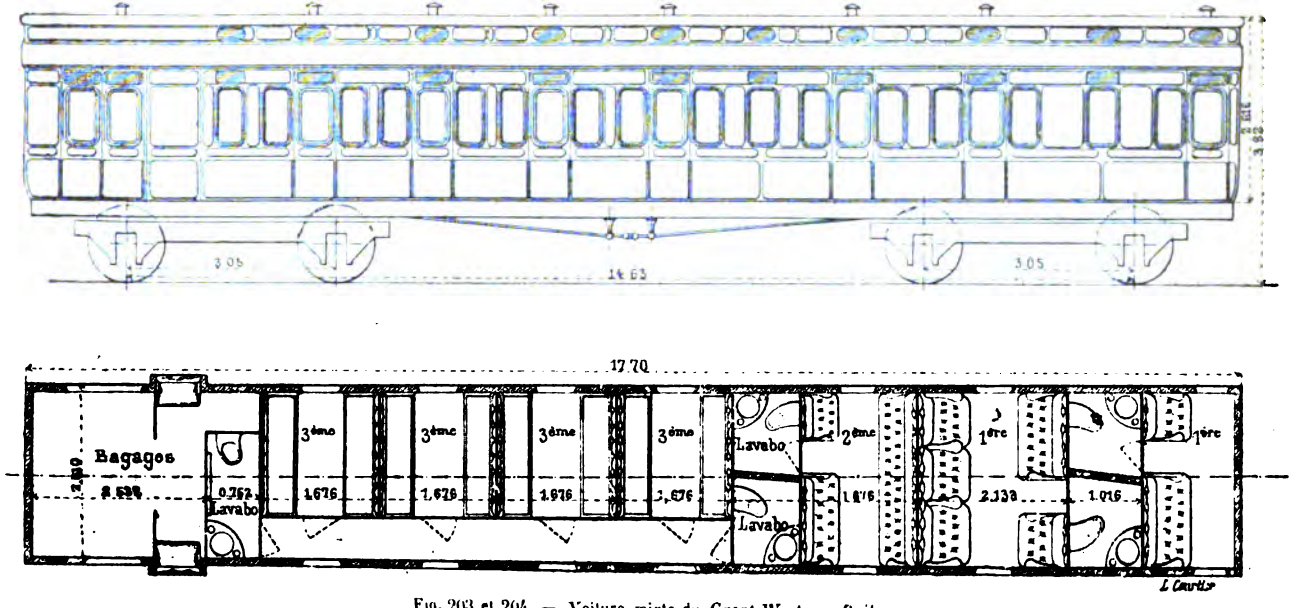


Fig. 203 et 204. — Voiture mixte du *Great-Western Railway*.

grand empattement, de passer dans des courbes de 90 mètres de rayon.

La caisse repose sur le châssis par l'intermédiaire de rondelles en plomb remplaçant le caoutchouc.

La carcasse de la caisse est en teak, à l'exception de certaines pièces d'encadrement, qui sont en chêne. Les menuiseries de l'intérieur sont en teak verni et en frêne.

En hiver, ces voitures sont chauffées par de la vapeur provenant de la machine et circulant dans une conduite générale. Elles sont éclairées au gaz.

CHAPITRE IV

LES FREINS

153. L'emploi des freins a pour but de mettre en jeu une force retardatrice capable de s'ajouter au frottement des fusées dans leurs coussinets et aux autres résistances que subissent les trains en marche, pour détruire la force vive emmagasinée dans la masse de ce train en mouvement, lorsque, le régulateur de la machine étant fermé, on doit obtenir l'arrêt.

Les freins se composent de sabots en bois ou, mieux, en fonte qui, au moyen de transmission et de mouvements appelés « timoneries », peuvent venir s'appliquer énergiquement sur les bandages et créer un frottement qui réduit rapidement la vitesse.

L'effort servant à l'application du frein peut être produit à la main, par les conducteurs et les *serre-freins*, c'est le cas des trains de marchandises, ou mécaniquement, comme dans les *freins continus* actuellement usités pour tous les trains de voyageurs.

Dans les *freins à main*, le serrage est produit par l'action d'une vis sur laquelle on agit à l'aide d'un volant placé dans la vigie du wagon.

Les tenders et les fourgons, certaines voitures de voyageurs munis du frein continu mécanique, comportent néanmoins une commande à main destinée à fonctionner en cas d'avarie au mécanisme automatique.

Les freins continus ne sont pas employés pour le matériel à marchandises ; aussi, les trains composés de ces wagons doivent-ils recevoir un nombre suffisant de véhicules munis de freins à main. Pour éviter l'emploi d'un personnel trop

nombreux, on groupe ordinairement les wagons à frein de manière que les vigies se trouvent en regard, ce qui permet à un seul garde-frein de manœuvrer les deux appareils.

Au début des chemins de fer, alors que le poids et la vitesse des trains étaient faibles et que les lignes étaient peu encombrées, les freins à main suffisaient aux besoins de l'exploitation, même pour le service des voyageurs.

A mesure que le trafic s'est accru, que le nombre, le poids et la vitesse des trains de voyageurs ont été augmentés, il a fallu créer de nouveaux moyens d'arrêt plus puissants et d'action plus rapide que le frein primitif à main. Or, la force nécessaire pour arrêter un train croît comme le poids de ce train et le carré de sa vitesse ; pour une vitesse et un poids constants, la force retardatrice varie en proportion inverse de la distance à parcourir avant l'arrêt complet.

On comprend donc dans quelle proportion considérable on devait augmenter la puissance des moyens d'arrêt lorsqu'il s'agit de trains rapides pesant en tout parfois plus de $200^{T},00$, et atteignant des vitesses qui peuvent dépasser 90 kilomètres à l'heure.

L'invention des freins continus a seule permis de donner une solution à ce problème. Les avantages de ce système ont été tellement reconnus que le Ministère des Travaux publics en a imposé l'application à tous les trains de voyageurs des grandes Compagnies françaises.

154. On appelle freins continus des freins qui s'appliquent à toutes ou à presque toutes les roues d'un train et qui sont mises en action d'un même point, à l'aide d'une transmission mécanique. Dans tous les systèmes qui se sont répandus, c'est l'air atmosphérique comprimé ou raréfié qui sert de véhicule et de transmission.

La plupart de ces freins sont, en outre, *automatiques*, c'est-à-dire qu'ils s'appliquent d'eux-mêmes, dès que, par suite d'une rupture d'attelage ou de toute autre cause, la continuité de la conduite d'air du frein cesse d'exister. C'est là un très grand avantage qui diminue dans une grande mesure les conséquences que peuvent avoir les déraillements, par exemple.

Les freins *Westinghouse* et *Wenger*, le *frein à vide* anglais sont automatiques ; le frein à vide *Smith* n'est pas automatique.

Certains freins continus sont, en outre, *modérables*, c'est-à-dire qu'ils permettent de produire sur les sabots, à un moment donné, la pression correspondant à l'effort retardateur que l'on veut obtenir à ce même moment, et que, une fois cette pression obtenue, on peut la conserver telle aussi longtemps qu'on le désire, et sans avoir à la modifier au moyen du robinet du mécanicien. Le frein *Westinghouse* ordinaire n'est pas modérable ; le frein *Wenger* est modérable dans une assez grande mesure ; le frein *Westinghouse-Henry* et le *frein à vide* anglais sont parfaitement modérables.

Pour donner une idée de la puissance des freins continus, il nous suffira de dire que l'arrêt d'un train lancé à 90 kilomètres à l'heure peut être obtenu normalement après un parcours de 250 à 300 mètres. Un arrêt d'urgence peut se faire après un parcours de 180 mètres.

Il n'existe, en somme, que des *freins continus* à *air comprimé* ou à *vide*. Parmi les premiers, le frein *Westinghouse* est de beaucoup le plus répandu; c'est, d'ailleurs, le premier qui ait été usité sur une certaine échelle, et qui a démontré la possibilité d'une application que beaucoup d'ingénieurs jugeaient chimérique. Viennent ensuite le frein *Wenger*, employé par quelques administrations françaises et certains autres types de frein plus ou moins dérivés du système Westinghouse et usités à l'Étranger.

Le frein à vide du système *Smith* est employé par la Compagnie du *Nord*, qui le remplace peu à peu par le frein à air comprimé.

Le *frein à vide automatique* est employé par la plupart des Compagnies anglaises.

En France, les Compagnies de l'*Ouest* et de l'*Est* emploient le frein *Westinghouse*. La Compagnie *Paris-Lyon-Méditerranée*, le frein *Westinghouse-Henry* ; les Compagnies d'*Orléans* et du *Midi*, l'administration des Chemins de fer de l'*État* ont adopté le frein *Wenger*. Le frein à vide du système *Soulerin* est employé par quelques chemins de fer à voie étroite.

155. Disposition des sabots et des timoneries. — Freins à quatre et huit sabots. — Avant de décrire les principaux systèmes de freins, il est intéressant de dire un mot de la disposition des sabots et des timoneries de frein, qui diffèrent peu d'un système à l'autre.

Le frein se compose de *sabots* qui appuient sur les bandages et d'une *timonerie* qui relie l'appareil moteur avec les sabots et leur transmet l'effort.

Les sabots sont presque toujours en fonte. La timonerie se compose de systèmes de leviers conjugués dans un rapport déterminé, et proportionné à l'effort à produire. Ce rapport est généralement de 1/10, c'est-à-dire que l'effort transmis par l'appareil moteur de chaque véhicule se trouve multiplié par 10, quand il agit sur le sabot.

On donne généralement au rapport existant entre la pression sur les sabots et le poids du véhicule destiné au transport des voyageurs, dans leur état de chargement moyen, une valeur comprise entre 0,75 et 1,00.

Afin que les freins puissent être serrés avec la plus grande rapidité, il faut que les sabots aient à parcourir, pour être amenés au contact des bandages, un espace aussi petit que possible. Cet espace est généralement de 10 millimètres.

En général, les sabots des freins sont suspendus au châssis des véhicules (*fig.* 162 et 170). Ces sabots agissent sur les deux côtés de chaque roue, ou sur un côté seulement. En ce qui concerne les voitures à deux essieux freinés, le premier s'appelle *frein à huit sabots* (*fig.* 162), le second *frein à quatre sabots* (*fig.* 137).

Les freins à deux sabots ne sont employés que pour les tenders et les machines, parce qu'ils créent une pression très grande des boîtes sur les plaques de garde, lesquelles n'ont pas, dans les véhicules ordinaires, la surface voulue pour résister à cet effort sans donner lieu à une usure considérable des boîtes ou des plaques elle-mêmes. En outre, dans le frein à quatre sabots, il y a formation d'un couple agissant sur le châssis, par l'intermédiaire des tiges de suspension qu'abaissent les wagons dans la direction de la marche, si les sabots sont à l'extérieur des roues, et qui les relèvent si les sabots sont entre les roues.

Pour éviter cette double action, on munit chaque roue des voitures à voyageurs de deux sabots diamétralement opposés dont les effets perturbateurs se neutralisent.

Nous donnerons à titre d'exemple la timonerie d'une voiture de l'*Ouest*, munie du frein Westinghouse (*fig.* 207).

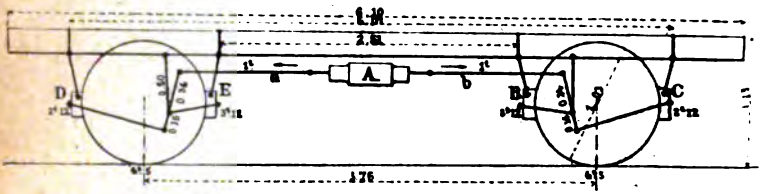


Fig. 207. — Timonerie du frein.

Le cylindre A, muni de deux pistons, agit sur chacune des deux tiges *a* et *b* en produisant, de part et d'autre, un effort de 1.000 kilogrammes. L'effort sur les sabots C et D est de $2^{T},12$; sur les sabots intérieurs B et E, il est de $3^{T},12$ · la somme des efforts est de $10^{T},48$, soit un peu plus que le poids du wagon en charge.

Dans les voitures portées par des trucks articulés, les cylindres à frein sont ordinairement fixés à demeure sur le châssis de la voiture et agissent sur la timonerie des trucks à l'aide des tringles articulées, qui permettent le déplacement relatif de ceux-ci.

156. Frein des machines et des tenders. — Les machines à voyageurs et les tenders sont toujours munis du même frein automatique que le train qu'elles sont destinées à remorquer. On n'emploie que les freins à deux sabots par paire de roues pour les raisons que nous avons exposées plus haut. Dans les machines à quatre roues accouplées, le cylindre à frein et la timonerie sont souvent disposés comme dans la figure 208, qui est relative à des machines de la Compagnie de l'*Ouest*, munies du frein Westinghouse. Le cylindre est disposé verticalement, de chaque côté, à égale distance de leurs axes, et actionne les sabots S par le moyen de deux bielles pendantes *a*, deux menottes *d* et des cames *c*.

Tous les tenders et toutes les machines-tenders sont, en

outre, munis d'un frein à main agissant sur le même sabot que le frein à air, et qui est destiné à suppléer à ce der-

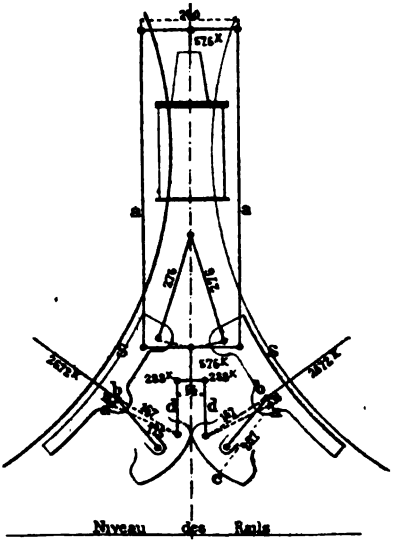


Fig. 208. — Frein à cames.

nier en cas d'avarie ou lorsque la machine n'est pas sous pression.

On a quelquefois appliqué aux machines de gare des freins à vapeur d'action très rapide.

157. **Frein Westinghouse.** — Le frein Westinghouse est continu et automatique; l'air employé pour serrer les freins est comprimé au moyen d'un petit-cheval placé sur la locomotive. Le mécanicien ou les conducteurs peuvent serrer le frein, qui s'applique, d'ailleurs, de lui-même lorsqu'il y a rupture d'un attelage ou avarie dans un des organes essentiels du frein.

On doit distinguer deux types de freins de ce système:

1° *Le frein ordinaire ;*

2° *Le frein à action rapide.*

Nous les décrirons successivement.

158. Frein Westinghouse ordinaire (*fig.* 209 et 210, Pl. X). — Le frein ordinaire, tel que nous allons l'examiner, est employé en France par les Compagnies de l'*Ouest* et de l'*Est*. Il est usité en Belgique, sur quelques lignes anglaises et, d'une manière générale, aux États-Unis. C'est un appareil conçu dans un esprit mécanique remarquable et qui fait le plus grand honneur à l'esprit inventif de son créateur, G. Westinghouse.

Principe du frein. — Une petite pompe, placée sur la locomotive, comprime de l'air dans un réservoir principal, d'où il se rend, à travers le robinet du mécanicien, dans la conduite générale qui s'étend sur tout le train. De cette conduite générale, l'air est amené sous chaque véhicule par un tuyau d'embranchement à la triple valve, qu'il traverse pour remplir un petit réservoir. D'un autre côté, cette valve est réunie au cylindre à freins, et la disposition est telle que, dès que le mécanicien diminue la pression de cette conduite générale en laissant échapper de l'air, les triples valves changent de position et permettent à l'air des petits réservoirs d'affluer dans les cylindres pour y faire jouer les pistons et appliquer les sabots.

Dès que le mécanicien remplit de nouveau la conduite générale, en manœuvrant son robinet de façon à donner de l'air au réservoir principal, les triples valves sont repoussées dans leur position primitive, de sorte que les cylindres à freins déchargent leur air dans l'atmosphère et, par conséquent, les freins se desserrent.

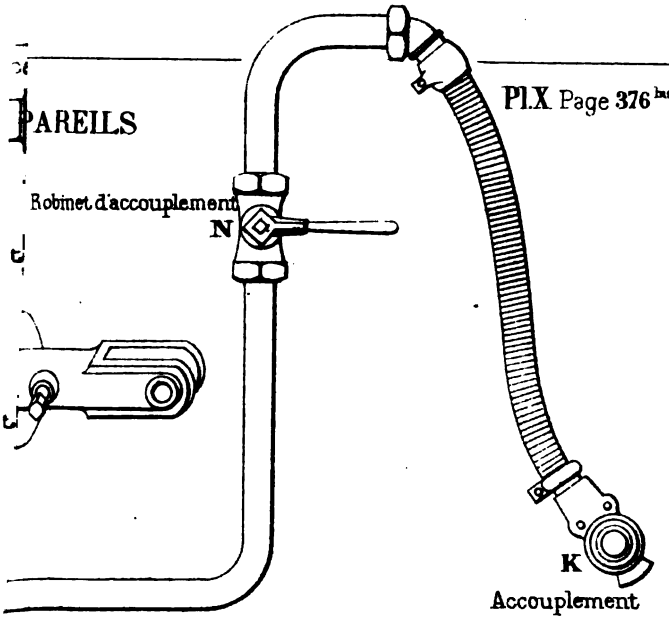
Les figures montrent le frein appliqué à une machine et à un tender. Elles donnent les éléments principaux depuis la pompe à air jusqu'à l'extrémité d'un véhicule. Ce dessin, qui n'est pas à l'échelle, est seulement destiné à montrer le rapport et le jeu de chaque organe.

La force employée pour manœuvrer le frein est l'*air comprimé*.

La machine, le tender et chaque véhicule du train sont munis des pièces suivantes (*fig.* 210) :

1° Une *triple valve*, F, au moyen de laquelle est produite l'action automatique instantanée, en communication avec :

2° Un petit *réservoir auxiliaire*, G, dans lequel est emmagasiné l'air comprimé pour l'application des freins ;



la ligne XY représentent la monture d'une voiture ou d'un fourgon.

3° Un *cylindre à freins* H, avec pistons et tiges en connexion avec :

4° Les *leviers de freins* et les *sabots.*

La machine comporte en plus :

Une *pompe à air*, A et B (*fig.* 209), à action directe pour comprimer l'air à la pression nécessaire ;

Un *réservoir principal*, C, pour emmagasiner l'air nécessaire au desserrage des freins et recharger les petits réservoirs ;

Un *robinet de mécanicien* D, pour la manœuvre du frein.

Une seule conduite, E, appelée la *conduite du frein*, s'étend sur toute la longueur du train.

Manœuvre du frein. — Avant de se mettre en marche, le mécanicien fait fonctionner la pompe à air et charge le réservoir principal de la locomotive et le petit réservoir du tender.

La pompe aspire l'air par les soupapes A et le refoule en B, dans le réservoir principal C, lequel communique par une conduite avec le robinet du mécanicien D, au moyen duquel l'air peut être introduit dans la conduite du frein E.

Suivant l'indication des flèches, l'air arrive à la triple valve F, par la conduite d'embranchement et à travers une cannelure dans le réservoir auxiliaire G, où il reste jusqu'à ce que l'on veuille serrer les freins.

Quand on charge un train, la même opération a lieu simultanément sous chaque véhicule. Les boyaux d'accouplement entre les véhicules étant assemblés, et la locomotive réunie au train, l'air comprimé, emmagasiné dans le réservoir principal, est admis dans la conduite du frein en plaçant la poignée du robinet du mécanicien dans la position convenable, c'est-à-dire entièrement sur la gauche. Une pression égale s'établit alors dans la conduite du frein, les triples valves et les petits réservoirs ; autrement dit, l'air comprimé circule dans toute la longueur du train, *excepté dans les cylindres à freins* H.

La pression de l'air comprimé est indiquée par le *manomètre* L, réuni au robinet du mécanicien.

Tant que la pression est maintenue, les freins sont desserrés, parce que le passage des petits réservoirs aux cylindres

reste fermé ; mais, si on laisse échapper l'air de la *conduite du frein*, les triples valves descendent et ouvrent ce passage. L'air emmagasiné dans les petits réservoirs se précipite aussitôt dans les cylindres et fait jouer les pistons.

En conséquence, pour appliquer les freins, le mécanicien doit ouvrir le robinet du frein et décharger de l'air de la conduite.

Au contraire, les freins sont desserrés en rouvrant la communication avec le réservoir principal, au moyen du robinet du mécanicien, et en rétablissant ainsi la pression dans la conduite du frein ; cette manœuvre soulève les triples valves dans tout le train et met les cylindres en communication avec l'atmosphère, au moyen d'une lumière d'échappement, ménagée dans chacune des valves ; l'air se trouvant dans les cylindres peut alors s'échapper, et les pistons, avec leurs leviers, sont ramenés à leur place par la détente de ressorts antagonistes placés à l'intérieur des cylindres.

Une locomotive ou une voiture peut être détachée sans que pour cela les freins s'appliquent, en séparant les accouplements de la manière ordinaire ; l'air est maintenu dans la conduite du frein par la fermeture du robinet placé sur cette conduite à chaque extrémité des véhicules.

Une valve de décharge J est adaptée à chaque cylindre dans le but de desserrer directement le frein, s'il se trouve appliqué, quand la locomotive n'est pas attelée. Des fils de fer ou des petites chaînes sont attachés à la poignée de cette valve, de façon que, de chaque côté de la voiture, l'on puisse facilement la manœuvrer et desserrer les freins. Les valves doivent être *tenues ouvertes* jusqu'à ce que l'air soit sorti, en les abandonnant ; elles se referment automatiquement.

Ainsi :

1° C'est l'air emmagasiné dans les petits réservoirs qui *applique* les freins, tandis que l'air du réservoir principal les desserre ;

2° Les freins sont appliqués par une diminution de pression dans la *conduite du frein* et desserrés par le rétablissement de cette pression.

En sorte que, soit par le mécanicien ou le conducteur manœuvrant leur robinet, soit par la séparation accidentelle du

train, par la rupture d'un tuyau, ou par toute autre cause ayant pour résultat la réduction subite de la pression dans la conduite du frein au-dessous de celle des petits réservoirs, le frein s'appliquera et restera appliqué. Il est donc absolument automatique dans son action.

Quand on attelle un train qui n'est pas chargé d'air, ou qui a une pression inférieure à celle de la machine, les freins de cette dernière s'appliquent avec force; la pression supérieure, en se précipitant dans la partie où la pression est moins forte, a naturellement réduit la pression dans la conduite du frein du tender. Il ne résultera pas d'inconvénient de ce fait, si le mécanicien a eu le soin d'arriver en tête du train avec une pression suffisante dans son *réservoir principal*, et il desserrera aussitôt le frein, en tournant sa poignée dans la première position correspondant au desserrage. Dans tous les cas, on peut ouvrir les valves de décharge des cylindres, et celles-ci doivent être disposées de façon à être manœuvrées du marche-pied.

On devra se rendre compte que, le manomètre L étant en communication avec la conduite du frein, il ne peut jamais indiquer la pression dans les cylindres. En effet, quand le frein est appliqué, la conduite du frein est isolée à la fois des réservoirs et des cylindres, et la pression alors indiquée au manomètre est celle qui est maintenue dans la conduite du frein seul. Cependant, la force avec laquelle les freins sont appliqués est en proportion de la réduction indiquée par le manomètre (c'est-à-dire dans la conduite du frein), jusqu'à la limite de 1 kilogramme et 1/2. Les freins sont alors appliqués avec pleine force, et il serait inutile de laisser échapper plus d'air. Il faut à peu près une réduction de 1/3 de kilogramme au manomètre pour appliquer légèrement les freins. Une fois les freins serrés, ils deviennent tellement sensibles que la moindre réduction de pression au manomètre augmente le serrage des freins.

Les freins ne doivent être serrés à fond qu'en cas de danger.

Les conducteurs peuvent appliquer les freins en ouvrant le robinet placé dans le fourgon à cet effet, mais ils ne peuvent pas les desserrer.

Vidange des réservoirs. — Dans les cas où il deviendrait nécessaire de vider les réservoirs sur une partie seulement du train, ceci peut être fait en vidant d'abord l'air de la conduite du frein, soit par le robinet du conducteur, ou en ouvrant le robinet de l'accouplement de l'arrière, puis en ouvrant la valve de décharge J de chaque cylindre. L'air des réservoirs s'échappe alors au dehors par les cylindres.

Pompe à air. — La figure 209 donne une coupe de la pompe à double effet, composée du cylindre à vapeur A et du cylindre à air B, dont les doubles pistons sont fixés à la même tige.

La vapeur de la chaudière pénètre dans le cylindre supérieur et remplit la chambre *a*, ainsi que la chambre *d* qui communique avec elle; à chaque extrémité du cylindre, entre celui-ci et la chambre *a* se trouvent des lumières qui se découvrent alternativement pour l'admission et l'échappement par le mouvement du tiroir 1. Celui-ci se compose de deux pistons, fixés sur la même tige; comme le piston supérieur est d'un plus grand diamètre que le piston inférieur, la tendance de la pression dans la chambre *a* est toujours de soulever le tiroir, à moins qu'il ne soit abaissé par la pression plus forte du plus grand piston 2, soumis à l'action de la vapeur contenue dans la chambre *d*. Telle est la position indiquée dans la figure, et, en conséquence, la vapeur soulève le piston principal 3. Quand celui-ci a complété sa course ascendante, le plateau 4 pousse en haut la tige 5, laquelle joue dans le creux de la tige du piston, et en même temps le tiroir 6. Ceci ferme le passage qui va de la chambre *d* au piston 2 et en même temps ouvre le passage de l'échappement *f* dans l'atmosphère, pour faire échapper la vapeur qui presse sur le piston 2. La vapeur de la chambre *a* peut alors soulever le tiroir principal 1 et pénétrer dans le haut du cylindre, et en même temps la vapeur de la partie inférieure peut s'échapper. En achevant sa course descendante, le piston principal entraîne de nouveau la tige 5 et le tiroir 6 dans la position indiquée, renversant ainsi la position 1, et conséquemment la course du piston principal 3.

Robinet du mécanicien. — Le robinet du mécanicien D,

ainsi que le montre la figure 209, relie le réservoir principal à la conduite du frein.

La manœuvre du frein donne lieu à trois positions principales de la poignée (*fig.* 211) :

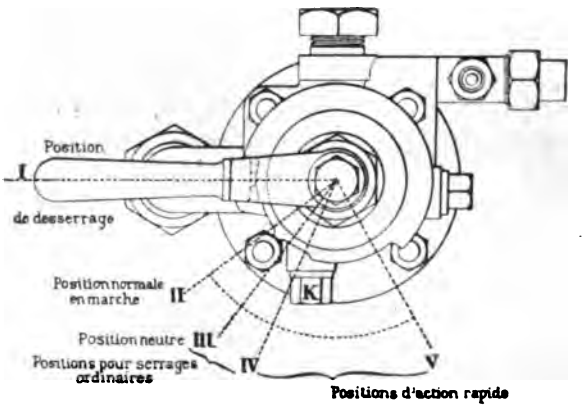


Fig. 211. — Robinet du mécanicien.

Première position : pour charger le train et desserrer les freins;

Deuxième position : pour l'alimentation pendant la marche;

Troisième position : pour serrer les freins.

Dans la *première position*, il est établi communication, par les lumières du robinet, entre le réservoir principal et la conduite du frein.

Dans la *deuxième position*, l'air doit passer par la petite valve 7 centrale avant d'atteindre la conduite du frein. Cette valve est maintenue sur son siège par un ressort en spirale d'une tension correspondant à une pression de 3/4 de kilogramme, de façon que, alimentant dans cette *deuxième position*, la pression dans la conduite du frein est de 3/4 de kilogramme inférieure à celle du réservoir principal.

Cet excès de pression est utilisé dans le desserrage des freins.

Un peu plus loin, sur la droite, la position est intermédiaire. Il n'y a pas alors de communication entre le réservoir principal et la conduite du frein; l'air ne peut pas non plus s'échapper de la conduite du frein au dehors; cependant, en tournant la poignée plus loin, vers la droite, on enlève le poids qui pressait sur la valve 8 (*fig.* 209), qui alors est soulevée par la pression dans la conduite du frein, et il s'en échappe de l'air au dehors.

Cet échappement de l'air applique les freins avec une énergie correspondant à la réduction de pression indiquée au manomètre L, de la conduite du frein.

Dans la *troisième position* la valve de décharge 8 est soulagée de tout le poids, ce qui permet l'échappement rapide de l'air et applique les freins à fond.

Dans la *première position* de la poignée, il se produit une fuite au dehors, pour rappeler au mécanicien, après qu'il a desserré les freins, qu'il doit placer la poignée dans la *deuxième position*, où elle doit demeurer pendant la marche du train.

Pour donner à l'air le temps de desserrer les freins complètement à la queue du train, il est important de laisser la poignée du robinet du mécanicien pendant environ dix secondes dans la première position, pour la ramener ensuite dans la deuxième position.

Pour appliquer les freins, on ouvre le robinet lentement, usqu'à ce que la dépression voulue soit obtenue, après quoi l'on ramène la poignée doucement pour arrêter l'échappement de l'air.

Dans l'arrêt obtenu au moyen des freins continus, l'action des sabots sur les roues a pour effet de faire pencher légèrement les voitures en avant; puis, de faire revenir celles-ci dans leur position normale à la fin de l'arrêt, avec une légère secousse.

Cette secousse peut être complètement évitée, si le mécanicien desserre les freins vers le dernier tour de roue ; l'arrêt définitif se fait alors avec une douceur parfaite.

C'est à cette dernière façon d'opérer que l'on reconnaît les bons mécaniciens.

Triple valve. — La triple valve F se compose (*fig* 210) d'un

petit piston 1 et d'un tiroir 2 mû de bas en haut, ou réciproquement, par l'*augmentation ou la diminution de la pression dans la conduite du frein*.

Aussitôt que l'air du réservoir principal passe, au moyen du robinet du mécanicien, dans la conduite du frein, le piston 1 est poussé dans la position indiquée, et l'air passe par une petite rainure 3, dans le réservoir G. En même temps, le tiroir 2 recouvre l'ouverture *b* conduisant au cylindre de freins et se trouve dans une position telle que l'air de ce dernier peut s'échapper au dehors par la lumière d'échappement *c*.

Le piston 1 se trouve alors soumis à la même pression d'air sur les deux côtés ; mais, si la pression subit une *diminution* dans la conduite du frein, le piston et le tiroir devront descendre, découvrant ainsi le passage *b* par lequel l'air du réservoir G se précipite dans le cylindre à freins H entre les pistons P, et applique les freins. La conduite du frein est isolée aussitôt que le piston 1 dépasse la rainure 3.

Pour desserrer les freins, le piston et le tiroir sont ramenés dans la position indiquée lorsque le mécanicien introduit l'air du réservoir principal dans la conduite du frein E.

L'air des cylindres de freins s'échappe par c, et en même temps les réservoirs G sont rechargés.

Accouplement. — Les accouplements K sont exactement semblables ; on a obtenu entre eux un joint hermétique au moyen d'anneaux en caoutchouc placés dans chacun d'eux ; la pression de l'air arrivant par derrière les force l'un contre l'autre, et l'étanchéité du joint augmente avec la pression.

Ces accouplements se réunissent en les plaçant simplement en face l'un de l'autre, presque à angle droit, de façon que les dents de l'un entrent dans les intervalles des dents de l'autre, puis en les tournant dans la position voulue.

Cylindre à freins. — La figure 210 représente la forme type du cylindre à freins pour une voiture. Celui-ci possède deux pistons maintenus dans la position indiquée par les ressorts en spirale qui sont à l'intérieur. Lors de l'admission de l'air, les deux pistons sont violemment écartés avec une force égale, et les freins s'appliquent. Quand on laisse l'air

s'échapper, les ressorts repoussent les pistons et desserrent les freins.

159. Frein Westinghouse à action rapide (*fig.* 212 et 213, Pl. XI). — Ce frein est une modification du précédent, réalisée pour rendre son action plus rapide pour les trains de grande longueur.

La disposition d'ensemble des appareils reste à peu près la même que plus haut, mais certains organes, entre autres le *robinet du mécanicien*, la *triple valve* et le *cylindre à frein*, présentent d'importantes particularités.

Robinet du mécanicien à décharge égalisatrice (*fig.* 212). — Le robinet du mécanicien D sert à relier la conduite générale E avec le réservoir principal C ou avec l'atmosphère ou, enfin, à isoler cette conduite.

Pour la manœuvre des freins, les positions suivantes de la poignée doivent être observées (*fig.* 211) :

1° *Position de desserrage*, pour charger le train et pour desserrer les freins. Dans cette position il existe une communication directe entre le réservoir principal et la conduite ;

2° *Position normale en marche*, alimentation lente pendant la marche. Dans cette position, l'air comprimé du réservoir principal doit, avant de pénétrer dans la conduite générale, soulever un clapet chargé par un ressort d'une résistance de 1 et 1/3 à 2 kilogrammes. L'air comprimé du réservoir principal conserve, par conséquent, une pression supérieure de 1 et 1/3 à 2 kilogrammes à celle de l'air de la conduite générale; ce surplus de pression assure le desserrage rapide des freins ;

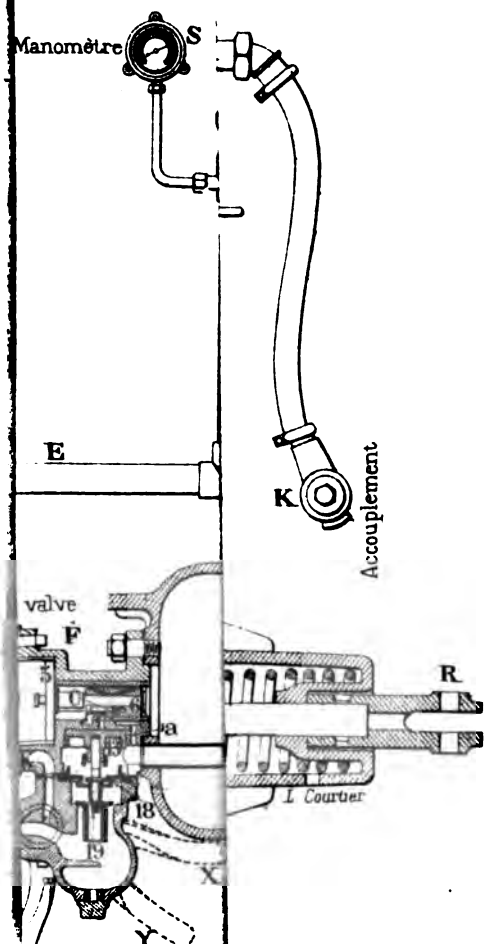
3° *Position neutre.* — Tous les orifices du robinet du mécanicien sont fermés; l'air du réservoir ne peut entrer dans la conduite générale, et l'air de la conduite ne peut s'échapper dans l'atmosphère ;

3° et 4° *Position pour serrages ordinaires.* — Si la poignée du mécanicien est tournée un peu à droite de la position III, l'air de la conduite générale s'échappe, et les freins sont serrés. On ne doit jamais, pour les serrages ordinaires, dépasser la position IV, car, alors, l'action rapide se produirait ;

4° et 5° *Position de l'action rapide.* — Dans toutes les posi-

NGHOUSE A AC

LE DES APP



tions entre IV et V, l'air comprimé s'échappe très vite de la conduite générale et l'action rapide a lieu.

Dans les serrages ordinaires, le mécanicien, en manœuvrant son robinet (*fig.* 212), ne laisse pas échapper directement l'air de la conduite générale, mais il agit sur un petit réservoir U relié au robinet. La diminution de pression ainsi faite dans le réservoir U se fait également dans la conduite générale E par l'intermédiaire d'un piston égalisateur, lequel, en se soulevant, ouvre un clapet de décharge et laisse échapper automatiquement l'air de la conduite jusqu'à ce que les pressions soient égalisées dans le réservoir U et la conduite générale E, quelle que soit la longueur du train. La partie supérieure de ce piston égalisateur est en communication avec le réservoir U, et sa partie inférieure avec la conduite générale E.

Triple valve. — La triple valve F (*fig.* 213) consiste principalement en deux pistons, dont l'un est horizontal, et l'autre vertical.

Elle fonctionne de la manière suivante :

Lorsque l'on admet, par le robinet du mécanicien, de l'air comprimé dans la conduite, l'air pénètre par E dans la triple valve F, passe par l'ouverture K, agit sur la face du piston horizontal 5, et le pousse dans la position indiquée sur la planche, passe ensuite par la petite rainure et autour du piston, et par l'ouverture remplit le réservoir auxiliaire G.

La pression est ainsi équilibrée de chaque côté du piston 5, et le tiroir 6 ferme l'orifice communiquant par B avec le cylindre à frein ; la soupape secondaire 18 est maintenue contre son siège par la pression d'air dans la conduite générale, et empêche ainsi cet air de passer dans le cylindre à frein.

Dans la position des valves indiquée sur la planche XI, les freins sont desserrés ; aussitôt qu'on laisse échapper l'air de la conduite générale, la pression du côté gauche du piston 5 devient plus forte que celle du côté droit, il en résulte que le piston est poussé à droite, entraînant avec lui le tiroir 6.

Si la pression dans la conduite est diminuée graduellement, comme l'on fait pour les arrêts ordinaires, le piston 5 ne se déplace que suffisamment pour permettre au tiroir de

découvrir l'orifice *a*; l'air comprimé du réservoir auxiliaire G passe alors par *a* et B dans le cylindre à frein jusqu'à ce que les pressions, sur les deux faces du piston 5, soient en équilibre.

Le piston secondaire 13 ne peut pas fonctionner dans ce genre de serrage, et le frein rapide agit exactement comme le frein automatique Westinghouse ordinaire.

Pour serrer rapidement les freins à fond, on diminue brusquement la pression dans la conduite générale. Le piston principal 5 est alors vivement repoussé à fond de course, par la pression supérieure du réservoir auxiliaire G, et, dans cette position, le tiroir 6 découvre l'orifice *a* par lequel l'air comprimé agit sur la face du piston secondaire 13, le refoule et ouvre la valve secondaire 18.

Dans ce cas, l'air de la conduite générale passe par les valves 19, 18 et le tube B directement dans le cylindre à frein, par un passage bien plus grand que celui faisant communiquer le réservoir auxiliaire avec le cylindre, ce qui produit une forte dépression dans la conduite auprès de la triple valve du véhicule suivant, laquelle, agissant de même, propage instantanément le serrage sur toute la longueur du train.

Pour desserrer les freins, on augmente la pression dans la conduite E, en y laissant pénétrer la pression du réservoir principal; toutes les valves de la triple valve reviennent alors dans les positions indiquées par la figure; le réservoir auxiliaire G est réalimenté, et l'air du cylindre à frein s'échappe par l'ouverture *a* et par la cavité du tiroir 6, dans l'orifice qui communique avec l'atmosphère.

Dans la partie inférieure de la triple-valve se trouve un robinet d'isolement qui est normalement dans la position Z; dans cette position tous les organes de la triple valve à action rapide fonctionnent; si la poignée du robinet d'isolement est placée dans la position X, le piston secondaire 13 ne fonctionne plus, et il n'y a que le piston principal 5 qui fonctionne. L'appareil du frein est complètement isolé, si la poignée est placée dans la position Y. Lorsque la poignée est mise dans cette position, on doit ouvrir la valve de purge, afin de vider l'appareil.

Cylindre à frein. — Dans la vue d'ensemble le cylindre à frein est désigné par la lettre H.

A l'intérieur se trouve un piston, maintenu par un ressort à boudin, dans la position indiquée. En laissant pénétrer l'air comprimé dans ce cylindre, le piston est poussé en avant, et les sabots sont appliqués contre les bandages ; quand l'échappement se produit, le ressort refoule le piston en arrière et les freins sont desserrés.

On remarquera, dans la paroi du cylindre une petite rainure qui contourne le piston ; cette rainure est destinée à laisser échapper l'air provenant d'un commencement de serrage produit par de petites fuites dans la conduite générale ; dans ce cas, l'air passe par la rainure sans déplacer le piston. Dans un serrage ordinaire, l'air comprimé, arrivant plus vite et avec plus de force, déplace le piston de suite, et la rainure est couverte. Pour assurer le bon fonctionnement de tous les freins, le mécanicien doit toujours, comme première dépression, dans les arrêts ordinaires, diminuer la pression de la conduite de 1/3 à 1/2 kilogramme.

Le cylindre à frein n'est pas nécessairement monté sur le réservoir auxiliaire ; il peut être monté séparément ; dans ce dernier cas, on emploie souvent un cylindre à deux pistons agissant dans des directions opposées.

160. Frein Westinghouse-Henry. — Le frein Westinghouse ordinaire n'est pas modérable, c'est-à-dire que le mécanicien n'est pas parfaitement maître de régler la pression sur les sabots et de maintenir un serrage de faible intensité pendant un temps indéfini, ce qui serait très commode pour la descente des pentes. Avec le frein Westinghouse on est obligé, en pareil cas, d'opérer par à-coup, c'est-à-dire de serrer les freins quand la vitesse devient trop élevée, puis de les desserrer lorsque le serrage trop énergique entraîne un ralentissement excessif. M. l'ingénieur en chef Henry a modifié le frein Westinghouse usité par la Compagnie de *Paris-Lyon-Méditerranée* en vue de le rendre modérable, ce qui est particulièrement intéressant sur un réseau qui compte de nombreuses lignes à fortes rampes.

Dans ce dispositif, appliqué à tous les trains de voyageurs

de la Compagnie de *Paris-Lyon-Méditerranée*, une seconde conduite permet d'envoyer directement l'air comprimé sur les pistons qui commandent les sabots, pour produire un serrage permanent dont l'intensité se règle à volonté.

Entre la seconde conduite générale, la triple valve et le cylindre à frein de chaque véhicule, on a placé une double valve d'arrêt qui permet de commander à volonté les pistons par l'une ou l'autre des deux conduites principales.

Un robinet de manœuvre spécial commande la conduite du frein modérable.

Si le frein automatique vient à fonctionner d'une manière intempestive, par suite d'une avarie, il suffit de mettre le robinet de manœuvre du frein modérable dans la position du serrage à fond pour vider très rapidement tous les réservoirs des voitures. Cette manœuvre annule le frein automatique, mais le frein modérable reste disponible.

161. Le frein Wenger (*fig.* 214), analogue en bien des points au frein Westinghouse, a été combiné par son inventeur en vue de permettre un serrage prolongé et modérable, ce qui présente des avantages pour la descente des longues pentes.

Le mécanisme des freins est commandé, sous chaque véhicule, par un piston principal, qui porte sur sa tige un petit piston auxiliaire se mouvant dans un cylindre spécial et formant avec le piston principal un système différentiel, dont l'effet est de donner un mouvement de recul à ce piston, quand la pression est égale sur ses deux faces. Cette disposition permet, si on le veut, de supprimer les ressorts de rappel employés par M. Westinghouse.

Le piston principal est placé dans un cylindre dont les parois, prolongées au-delà de l'espace A, dans lequel joue ce piston, forment à l'une des extrémités du cylindre une chambre étanche B, dont le fond porte le cylindre du piston auxiliaire. Le piston principal ne porte qu'un seul cuir embouti, dont le bord relevé est tourné du côté du piston auxiliaire ; l'étanchéité n'existe donc que du côté qui fait face à la chambre B, de sorte que l'air comprimé introduit dans le cylindre A peut, par la dépression du cuir embouti, pénétrer dans la chambre B, pour établir dans celle-ci et dans

le cylindre A l'égalité de pression, mais il ne peut en sortir lorsqu'on fait échapper l'air du cylindre A.

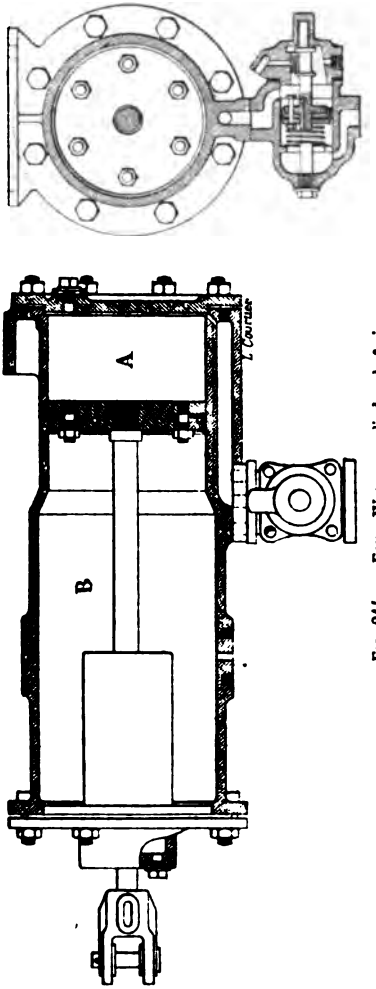


Fig. 214. — Frein Wenger, cylindre de frein

Lorsque l'équilibre de pression sur les deux faces du pis-

ton principal est rompu, celui-ci se met en mouvement pour serrer les freins. La tige transmettant l'effort à la timonerie travaille par traction.

Le mouvement de l'air dans l'appareil de chaque voiture est réglé par un distributeur appelé valve d'échappement, qui fait pour le serrage rapide l'office de la triple valve dans le frein Westinghouse.

Le fonctionnement de cette valve repose sur le même principe que celui du cylindre à freins. Elle se compose d'un petit cylindre dans lequel se meut un piston garni d'un cuir embouti, dont le bord est rabattu vers la face supérieure; sous la face inférieure du piston arrive l'air comprimé de la conduite générale qui, prenant à dos le cuir embouti, s'introduit dans la chambre supérieure en filtrant entre le piston et la paroi du cylindre. La chambre supérieure de la valve d'échappement est en communication avec le cylindre A des freins; elle communique aussi avec l'atmosphère au moyen d'un orifice qui peut s'ouvrir à l'air extérieur ou se fermer, suivant la position occupée par un petit tiroir solidaire de la tige du piston; quand le piston de la valve d'échappement s'abaisse, l'orifice s'ouvre; il se ferme quand le piston remonte. Ainsi, l'air s'échappe-t-il de la conduite générale, le piston de la valve d'échappement s'abaisse sous l'action de l'air comprimé dans le cylindre A du frein, entraînant le petit tiroir solidaire qui découvre l'orifice de communication avec l'atmosphère; l'air comprimé contenu dans le cylindre A s'échappe par cet orifice, et les freins se serrent sous l'action de l'air comprimé resté enfermé dans la chambre B du cylindre de frein; l'air comprimé afflue-t-il ensuite dans la conduite principale, il arrive à la partie inférieure de la valve d'échappement, en relève le piston, l'orifice de communication avec l'atmosphère se ferme, et l'air comprimé, filtrant entre le cuir embouti et la paroi du cylindre de la valve, vient remplir le cylindre A du frein, repousser son piston et produire le desserrage.

Avec le système de M. Wenger, le serrage des freins est modérable; en effet, le piston de la valve d'échappement remonte et ferme la communication avec l'atmosphère dès que la pression dans la chambre intermédiaire du cylindre

des freins est devenue sensiblement égale à celle de l'air comprimé dans la conduite générale. Il suffit donc de régler la dépression dans la conduite générale, pour donner, aux sabots des freins, l'intensité de serrage dont on a besoin.

162. **Frein à vide automatique** (*fig.* 215). — Le frein à vide automatique est beaucoup plus employé en Angleterre que le frein Westinghouse à air comprimé; nous décrirons sommairement cet appareil à la fois simple et ingénieux.

L'appareil moteur du frein à vide se compose :

Sur la locomotive :

1° De l'éjecteur combiné qui sert à faire le vide dans la conduite principale et dans les cylindres pour desserrer les freins ou à introduire l'air dans ces mêmes appareils, dans la proportion convenable, pour obtenir un serrage graduel ou à fond des freins ;

2° D'un manomètre à vide, indiquant au mécanicien, à tout moment, la pression existant dans la conduite et, par conséquent, l'énergie du serrage des freins;

3° Du cylindre à freins et de la valve à boulet;

4° Du réservoir du tender qui a pour but d'augmenter puissance des freins de la machine et du tender;

5° D'une valve de purge qui a pour but de recueillir et d'évacuer l'eau de condensation produite dans l'éjecteur ;

Sur les véhicules :

1° Du cylindre à freins et de la valve à boulet;

2° De la valve à air du fourgon ou des véhicules dont le but est de permettre la mise en action des freins en cas d'urgence, par les conducteurs, et d'augmenter la rapidité d'action des freins, en déterminant plusieurs ouvertures de la conduite principale pour les arrêts rapides;

3° De la conduite principale;

4° Des tuyaux d'accouplement permettant la continuité de cette conduite.

Principe du fonctionnement. — L'éjecteur placé sur la machine fait le vide dans la conduite principale, puis dans les cylindres à frein de chaque véhicule, sur chacune des faces du piston, actionnant la timonerie qui s'abaisse normalement par suite de son poids; les freins sont desserrés.

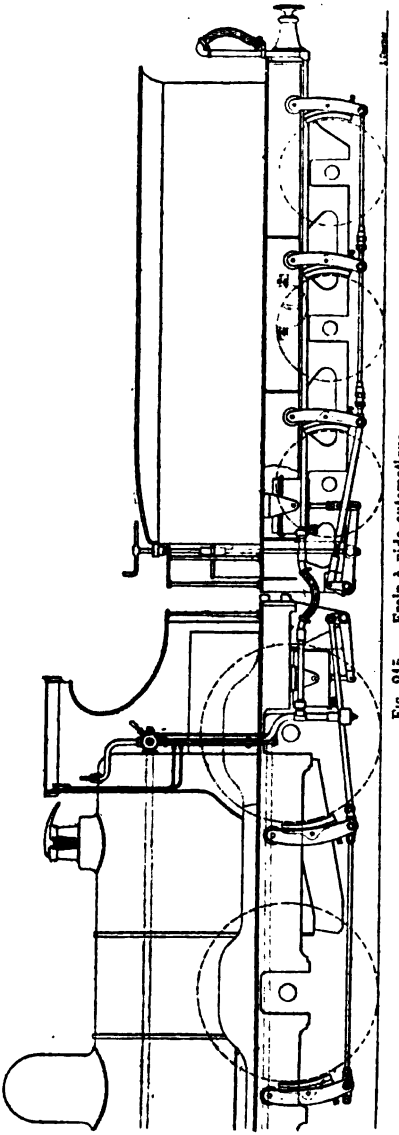


Fig. 215. — Frein à vide automatique.

Le mécanicien, en mettant la mannette de l'éjecteur dans la position de *frein serré*, ou le conducteur en ouvrant la valve de son fourgon, ou le voyageur en faisant fonctionner l'appareil d'appel qui se trouve placé dans chaque compartiment, détruit le vide existant dans la conduite principale, et admet l'air à la partie inférieure du cylindre à frein au-dessous du piston. Le vide reste maintenu sur la face supérieure de celui-ci, grâce à la fermeture automatique de la valve à boulet sous l'influence de cette rentrée d'air. Le piston se soulève par la différence de pression entre ses deux faces, et les freins se serrent avec une énergie qui dépend de la quantité d'air introduite dans la conduite.

Le frein est parfaitement automatique, puisque, en cas d'une rupture d'attelage, l'air pénètrera dans la conduite principale, ce qui produira le serrage.

Pour desserrer les freins, le mécanicien mène la mannette de l'éjecteur dans la position de *desserrage ;* l'éjecteur, agissant à nouveau, rétablit le vide dans la conduite, et sous les deux faces des pistons à frein, la valve à boulet se rouvrant.

L'éjecteur comprend deux éjecteurs concentriques, un grand et un petit. Ce dernier fonctionne constamment pendant la marche et doit seulement suffire à maintenir le vide dans la conduite et les cylindres. Le grand éjecteur ne doit fonctionner qu'au départ, pour rétablir rapidement le vide dans les cylindres et la conduite.

L'action des deux éjecteurs est semblable, la vapeur de la chaudière passe autour des cônes et aspire l'air de la conduite en l'entraînant dans le tuyau d'échappement, qui est ordinairement dirigé dans la cheminée. Le bruit de l'appareil est à peine perceptible.

Le cylindre à frein se compose d'un cylindre intérieur en fonte fermé à sa partie inférieure et ouvert à sa partie supérieure. Sur la base de ce cylindre se trouve fixé un second cylindre en tôle, plus grand, qui l'enveloppe et le recouvre par une calotte à la partie supérieure. Cette enveloppe est munie de deux tourillons qui servent de pivots et de supports au cylindre à frein et lui permettent un léger mouvement d'oscillation.

A l'intérieur du cylindre se meut un piston métallique lié

à la timonerie par une bielle. L'étanchéité est obtenue au moyen d'un anneau roulant en caoutchouc fixé dans une gorge annulaire du piston.

Autour de la tige du piston, l'étanchéité est obtenue au moyen d'une garniture en caoutchouc très ingénieuse.

Les cylindres à frein métalliques sont d'une étanchéité bien supérieure à celle des cylindres à diaphragme en caoutchouc toilé du frein Smith, qui serait tout à fait insuffisante pour un frein modérable.

FIN

TABLE DES MATIERES

PREMIÈRE PARTIE

La Locomotive

CHAPITRE PREMIER

Considérations générales

Pages.

1. Origine de la puissance de la locomotive..... 1
2. Eléments constitutifs de la locomotive : Chaudière, mécanisme, véhicule, principe du fonctionnement..... 2
3. Travail effectué par la locomotive..... 5
4. Résistance des trains et des machines..... 5
5. Adhérence..... 9
6. Effort de traction..... 11
7. Stabilité des locomotives..... 13
8. Elévation de la chaudière et du centre de gravité..... 15

CHAPITRE II

La chaudière

9. Considérations générales sur la chaudière-locomotive... 17
10. Production de la chaudière-locomotive. Ses proportions. 19
11. Description générale de la chaudière..... 20
12. Proportions et dispositions générales des foyers..... 21
13. Appropriation des foyers en vue du combustible employé. — Différents genres de chauffe..... 23
14. Principe de la combustion. — Rentrée d'air. — Voûte en briques. — Foyer Ten Brinck..... 28
15. Mode de construction des foyers. Nature du métal employé. — Consolidations et armatures du ciel et des parties verticales. — Cadre du foyer..... 30

Pages.
16. Portes des foyers 34
17. Boîte à feu. — Type Crampton. — Boîte à feu renflée, boîte à feu Belpaire 35
18. Corps cylindrique. — Plaque tubulaire. — Virole. — Dôme. — Nature des métaux employés 37
19. Tubes. — Tubes lisses. — Tubes à ailettes. — Nature des métaux employés. — Raboutage 40
20. Dispositions prises en vue d'augmenter la puissance des chaudières. — Chaudière Flamant 43
21. Boîte à fumée. — Cheminée. — Echappement. — Pare-étincelles. — Trémie. — Souffleur 45
22. Grille. — Grilles horizontales et inclinées. — Barreaux en fonte et en fer forgé. — Jette-feu 50
23. Cendrier 52
24. Voûte en briques 53
25. Timbre. — Essai des chaudières 53
26. Attache de la chaudière sur le châssis 54
27. Corrosions. — Usure des chaudières 56
28. Dépôts et inscrustations 57
29. Appareils de sûreté et accessoires des chaudières 59
30. Indicateurs de niveau 59
31. Manomètres 61
32. Soupapes de sûreté 62
33. Robinet de vidange. — Autoclaves 65
34. Enveloppes des chaudières. — Enveloppes en tôle et en cuivre. — Peinture 65
35. Alimentation 67
36. Injecteurs. — Injecteurs Giffard, Turck, Friedmann, Sellers, Polonceau 67
37. Tuyautage d'alimentation. — Raccords avec le tender ou les caisses à eau. — Tuyautage et chapelles de refoulement 73
38. Colonnettes de prise de vapeur 75

CHAPITRE III

Le mécanisme

39. Éléments constituant le mécanisme. — Position des cylindres. — Avantages et inconvénients relatifs des cylindres extérieurs et intérieurs 77
40. Cylindres et boîtes à tiroir. — Nature du métal employé. — Description du cylindre et de ses accessoires 80
41. Disposition et emplacement des boîtes à tiroir 85

Pages.

42. Pistons et leurs tiges. — Pistons en fonte, en fer forgé, en acier moulé. — Mode de fixation sur la tige. — Segments..... 86
43. Garnitures des tiges de piston et de tiroir. — Garnitures végétales et métalliques..... 89
44. Crosses de tiges de pistons et glissières. — Différents systèmes de glissières. — Assemblage des crosses et des tiges. — Disposition générale des têtes de piston..... 91
45. Bielles motrices. — Corps et têtes des bielles. — Nature des matériaux employés. — Coussinets. — Rattrapage de jeu..... 95
46. Bielles d'accouplement. — Bielles avec et sans rattrapage de jeu..... 99
47. Coussinets. — Formes et matériaux adoptés. — Emploi du métal blanc, mode de graissage..... 100
48. Organes de la distribution..... 103
49. Tiroir ordinaire à coquille. — Son fonctionnement. — Phases principales de la distribution..... 104
50. Travail de frottement absorbé par les tiroirs..... 108
51. Autres systèmes de distribution. — Distributions Durant et Lencauchez. — Bonnefond..... 108
52. Disposition générale du tiroir et de sa tige..... 109
53. Commande du tiroir..... 110
54. Excentriques. — Leur mode de construction. — Matériaux employés. — Poulies. — Colliers. — Barres..... 110
55. Coulisses de changement de marche. — Différents types de changement de marche. — Coulisses : de Stephenson, de Gooch, d'Allan. — Distributions : Welschaërt et Joy. — Distributions sans excentrique..... 114
56. Mode de construction des coulisses..... 119
57. Transmission du mouvement au tiroir..... 120
58. Changement de marche et relevage. — Changement de marche à levier, à vis, à vapeur..... 121
59. Ensemble du mécanisme..... 123
60. Emploi de la détente variable..... 123
61. Marche à régulateur fermé..... 125
62. Robinets purgeurs..... 126
63. Graissage des cylindres et tiroirs. — Graissage par aspiration. — Graisseurs à déplacement. — Graisseurs mécaniques..... 127
64. Régulateur. — Type Crampton. — Régulateur à col de cygne..... 129

CHAPITRE IV

Le véhicule

Pages.
65. Éléments constituant le véhicule de la locomotive..... 134
66. Châssis. — Longerons. — Traverses et entretoises. — Longerons intérieurs, extérieurs et doubles..... 134
67. Glissières des plaques de garde..... 139
68. Boîtes à huile. — Dessus et dessous de boîte. — Coussinets. — Graissage. — Boîtes intérieures et extérieures.. 140
69. Suspension..... 144
70. Ressorts et tiges de suspension..... 144
71. Balanciers de répartition. — Leur but, leurs avantages... 145
72. Essieux droits et coudés..... 148
73. Roues. — Mode de construction. — Matériaux employés. 150
74. Contrepoids. — Leur but. — Détermination de leur masse. 151
75. Bandages. — Métal employé. — Mode de fabrication. — Dimensions. — Modes d'attache..... 153
76. Dispositions propres à faciliter le passage en courbe. — Déplacement transversal des essieux. — Convergence. — Machines articulées..... 155
77. Boîtes à plans inclinés..... 156
78. Trains articulés ou bissels à un seul essieu..... 157
79. Boîtes radiales..... 158
80. Trucks articulés ou bogies. — Dispositions des principaux bogies usités en France et à l'étranger..... 158
81. Attelage de la machine et du tender. — Attelages rigides. — Attelages élastiques. — Attelages convergents..... 164
82. Attelage avec le train..... 166
83. Accessoires. — Tablier. — Couvre-roues. — Abri. — Chasse-pierres. — Marchepieds..... 167
84. Sablière..... 170

CHAPITRE V

Le tender et la locomotive-tender

85. Dépense d'eau et de charbon..... 172
86. Locomotives-tenders..... 174
87. Mode de construction du tender. — Châssis. — Roues. — Caisses à eau. — Frein..... 174
88. Caisses à eau et soutes des machines-tenders..... 176
89. Prise d'eau en route. — Disposition Ramsbottom..... 178
90. Condensation de la vapeur dans les caisses à eau. — Dispositions adoptées pour le passage en souterrain... 180

CHAPITRE VI

Principaux types de locomotives

Pages
91. Classification des locomotives..... 182
92. Types de machines express à voyageurs employées par les principales Compagnies de chemins de fer en France et à l'étranger..... 184
93. Locomotives à roues indépendantes..... 185
94. Locomotives à quatre roues accouplées..... 188
95. Locomotives à six roues accouplées..... 199
96. Locomotives à huit roues accouplées..... 205
97. Locomotives à dix roues accouplées..... 208
98. Locomotives à douze roues accouplées ou motrices.... 209
99. Locomotives-tenders..... 210
100. Locomotives pour voie étroite..... 212
101. Locomotives à crémaillère..... 213

CHAPITRE VII

Description de quelques locomotives de construction récente

102. Exposé préliminaire..... 215
103. Locomotive express compound à quatre cylindres de la Compagnie du *Nord*..... 215
104. Locomotives express à bogie de la Compagnie de l'*Ouest*. 222
105. Locomotives à voyageurs pour lignes à fortes rampes de la Compagnie de *Paris à Orléans*..... 225
106. Locomotive-tender de la banlieue de la Compagnie de l'*Est*..... 232
107. Locomotive express à roues indépendantes du *Great-Western Railway*..... 247
108. Locomotive express à quatre roues accouplées du *New-York Central Railroad*..... 250

CHAPITRE VIII

Les locomotives compound

109. Application du mode compound aux locomotives. — Avantages du système au point de vue des pertes thermiques..... 256

Pages.

110. Différents systèmes de locomotives compound. — Dispositifs à deux cylindres. — Valves de démarrage automatiques ou à la main. — Machines à trois et à quatre cylindres. — Machines articulées..... 258
111. Locomotives compound employées par la Compagnie du *Nord*..... 260
112. Types de la Compagnie du *Midi*..... 264
113. Type de la Compagnie de l'*Est*..... 265
114. Types de la Compagnie *Paris-Lyon-Méditerranée*..... 266
115. Type de la Compagnie de l'*Ouest*..... 273
116. Machines *Mallet* à deux et à quatre cylindres..... 274
117. Conclusions..... 277

DEUXIÈME PARTIE

Le Matériel Roulant

CHAPITRE I

Considérations générales

118. Particularités que présente le matériel roulant appelé à circuler sur les voies ferrées..... 279
119. Conditions essentielles auxquelles doivent satisfaire les voitures de chemins de fer..... 280
120. Dimensions principales des voitures..... 283
121. Poids des voitures de type courant..... 284
122. Classification des voitures à voyageurs..... 284
123. Nombre et disposition des essieux..... 285
124. Voitures à compartiments séparés et voitures à intercirculation..... 285
125. Voitures des différentes classes..... 287
126. Voitures de banlieue..... 288
127. Voitures de luxe..... 289
128. Véhicules spéciaux s'attelant aux trains de voyageurs.. 293
129. Wagons à marchandises. — Simplicité de leur construction. — Différents types de wagons..... 294
130. Éclairage des voitures. — Éclairage à l'huile, au pétrole, au gaz, éclairage électrique..... 299

Pages.

131. Chauffage des voitures. — Chaufferettes. — Chaufferettes à eau et à acétate. — Thermo-siphons. — Chauffage à la vapeur 304
132. Intercommunication. — Systèmes électriques et pneumatiques 309

CHAPITRE II

Construction des voitures et des wagons

133. Parties constitutives des véhicules. — Caisse et châssis. 314
134. Châssis proprement dit 314
135. Châssis du matériel à voyageurs. — Châssis en bois. — Châssis mixte. — Châssis entièrement métallique 315
136. Châssis du matériel à marchandises. — Châssis en bois, mixte et métallique 320
137. Appareils d'attelage, de choc et de traction, pour les matériels à voyageurs et à marchandises 321
138. Suspension. — Généralités sur les ressorts, leur mode de construction et leur montage 330
139. Disposition générale de la suspension 332
140. Suspension des caisses sur les brancards 335
141. Plaques de garde 336
142. Boîtes de graissage. — Graissage à la graisse. — Graissage à l'huile. — Graissage mixte 338
143. Roues. — Roues à rayons et roues pleines. — Roues à centres métalliques et à centres en bois 344
144. Bandages 348
145. Essieux 349
146. Dispositions propres à faciliter le passage en courbes. — Jeu des essieux. — Trucks articulés. — Bogies 351
147. Caisses des voitures à voyageurs. — Eléments principaux. — Mode de construction 353
148. Caisse du matériel à marchandises 355

CHAPITRE III

Description de quelques types de voitures

149. Nouvelles voitures à intercirculation de la Compagnie *Paris-Lyon-Méditerranée* 358
150. Nouvelle voiture de 1re classe à intercirculation de la Compagnie d'*Orléans* 361
151. Voiture mixte du *Great-Western Railway* 366

Pages.

152. Nouvelle voiture à voyageurs des chemins de fer hollandais 367

CHAPITRE IV

Les freins

153. Utilité des freins. — Principe. — Freins à main. — Frein à transmission mécanique 370
154. Freins continus. — Leur but. — Freins automatiques, modérables. — Freins continus à air comprimé et à vide. — Différents systèmes 371
155. Disposition des sabots et des timoneries. — Freins à quatre et à huit sabots 373
156. Freins des machines et des tenders 374
157. Frein Westinghouse 375
158. Frein Westinghouse ordinaire 376
159. Frein Westinghouse à action rapide 384
160. Frein Westinghouse-Henry 387
161. Frein Wenger 388
162. Frein à vide automatique 391

Tours. — Imprimerie Deslis Frères.

BIBLIOTHÈQUE DU CONDUCTEUR

DE

TRAVAUX PUBLICS

PUBLIÉE

SOUS LES AUSPICES

DE

MM. les Ministres des Travaux publics, de l'Agriculture, de l'Instruction publique, du Commerce et de l'Industrie, de l'Intérieur, des Colonies, de la Justice.

ENSEMBLE DES CONNAISSANCES
INDISPENSABLES AUX CONDUCTEURS DES PONTS ET CHAUSSÉES
ET CONDUCTEURS MUNICIPAUX, AGENTS VOYERS,
CONTRÔLEURS DES MINES, CHEFS DE SECTION, ARCHITECTES VOYERS, ENTREPRENEURS
CONDUCTEURS DE TRAVAUX, CHEFS DE DISTRICT, INSPECTEURS,
VÉRIFICATEURS, ETC.

Programme. — Conditions de souscription.
Abrégé de la table des matières des 57 volumes parus.

PARIS
H. DUNOD ET E. PINAT, ÉDITEURS
49, Quai des Grands-Augustins, 49

1907

PROGRAMME ET PRIX DES VOLUMES
PARUS ET A PARAITRE

GÉNÉRALITÉS

* 1	Mathématiques (2e édition)...	12	»
* 2	Mécanique, hydraulique et thermodynamique (2e édition)	15	»
* 3	Chimie et physique appliquées	12	»
* 4	Résistance des matériaux : T. I.....	15	»
* 5	Résistance des matériaux : T. II.....	15	»
5bis	T. III.....	12	»
	Topographie. Etudes et opérations sur le terrain :		
* 6	1er vol. : Instruments.....	12	»
* 7	2e vol. : Méthodes	15	»
8	Travaux graphiques.....	12	»
* 9	Maçonneries.....	10	»
* 10	Bois et métaux.....	8	»
* 11	Tracé et terrassements.....	15	»
* 12	Fouilles et fondations.....	12	»
* 13	*Droit civil*.....	8	»
* 14	*Droit administratif général.*	9	»
15	*Economie politique et statistique*.....	15	»
* 16	*Droit commercial et industriel*.....	10	»
* 17	*Procédure civile et droit pénal*.....	8	»
* 18	*Exécution des travaux publics*.....	12	
* 19	*Organisation des services de travaux publics*.....	8	
* 20	*Comptabilité des travaux publics et tenue des bureaux*	12	
* 21	*Comptabilité départementale, vicinale, communale et commerciale*.....	12	»
* 22	*Rôle social et économique des voies de communication*..	10	
* 23	*Rapports de service*.....	12	
* 24	Hygiène.....	7	50

SPÉCIALITÉS

Section I. — Chaussées et ponts

25	Ponts en maçonnerie.....	12	»
26	Ponts en bois et en métal...	15	»
* 27	Routes et chemins vicinaux..	12	»
28	*Droit administratif. De la voirie*.....	12	»
	Total.....	51	»

4 volumes. — En souscription, **46** fr.

Section II. — Service municipal

* 29	Voie publique.....	12	»
* 30	Distribution des eaux.....	15	»
* 31	Egouts. — Assainissement...	18	»
* 32	Plantations, jardins et promenades.....	11	»
* 33	Eclairage (2e édition).....	15	»
	Total.....	71	»

5 volumes. — En souscription, **64** fr.

Section III. — Navigation

34	Fleuves et rivières navigables.	12	»
35	Canaux et rivières canalisées.	12	»
* 36	Ports maritimes. 1er volume..	15	
37	— — 2e volume..	12	»
38	Exploitation des ports.....	9	»
39	Zoologie appliquée. Pisciculture, ostréiculture	12	»
* 40	*Législation des eaux*	15	»
	Total.....	87	»

7 volumes. — En souscription, **79** fr.

Section IV. — Chemins de fer et tramways

* 41	Construction et voie.....	12	50
* 42	Locomotive et matériel roulant	12	»
* 43	Exploitation technique.....	16	»
44	Exploitation commerciale....	8	
* 45	Tramways et automobiles....	12	»
46	*Législation des chemins de fer et tramways*.....	9	»
* 47	*Contrôle des chemins de fer.*	12	»
	Total.....	81	50

7 volumes. — En souscription, **74** fr.

SECTION V. — MINES. — MACHINES

* 48 Géologie et minéralogie appliquées	12	»
* 49 Exploitation des mines (2e éd.).	9	»
* 50 Chaudières à vapeur	12	»
* 51 Machines à vapeur	15	»
* 52 Machines hydrauliques	10	»
* 53 *Législation et contrôle des mines*	12	»
* 54 *Législation et contrôle des appareils à vapeur*	8	»
Total	78	»

7 volumes. — Ensemble, 71 fr.

SECTION VI. — CONSTRUCTIONS CIVILES, ADMINISTRATIVES ET MILITAIRES

* 55 Architecture	15	»
* 56 Charpente et couverture	10	»
* 57 Menuiserie, serrurerie, plomberie, peinture, vitrerie	10	»
* 58 Fumisterie, chauffage et ventilation	10	»
* 59 Devis et évaluations	15	»
60 Edifices publics pour villes et villages	15	»
61 *Législation du bâtiment*	8	»
Total	83	»

7 volumes. — En souscription, 75 fr.

SECTION VII. — AGRICULTURE

* 62 Agriculture	9	»
* 63 Hydraulique agricole. 1re et 2e parties	12	»
* 64 Id. 3e partie	15	»
* 65 Id. 4e à 8e partie	15	»
* 66 Génie rural	10	»
67 *Code rural*	8	
Total	69	»

6 volumes. — En souscription, 63 fr.

SECTION VIII. — ÉLECTRICITÉ. — PHOTOGRAPHIE

* 68 Théorie et production de l'électricité	12	»
* 69 Applications industrielles de l'électricité	12	»
* 70 Photographie. Reproduction des dessins	9	»
Total	33	»

3 volumes. — Ensemble, 30 fr.

SECTION IX. — SCIENCES MILITAIRES

* 71 Génie	12	»
* 72 Sciences et arts militaires	12	»
Total	24	»

2 volumes. — En souscription, 22 fr.

Les volumes précédés d'un astérisque sont parus (la table des matières de chacun d'eux est envoyée franco sur demande), et tous les autres sont à l'impression ou en préparation.

CONDITIONS DE SOUSCRIPTION

Tous les volumes de la Bibliothèque du Conducteur des Travaux publics, *dont chaque page contient la matière des livres grand in-8°*, sont de format in-16 (19 × 13), composés avec des caractères neufs, de lecture facile, imprimés sur beau papier, pourvus d'une solide et élégante reliure en peau souple ; ils peuvent être aisément portés sur les travaux.

Pour éviter les surprises désagréables auxquelles ont souvent donné lieu les souscriptions à certaines publications de longue haleine par l'augmentation inattendue du nombre de volumes et du prix prévu, *nous avons décidé de fixer dès maintenant la quantité des livres à paraître, leurs prix et les conditions de souscription : soit à la collection entière, soit à un certain nombre de volumes.*

Les prix de SOUSCRIPTION *que nous indiquons sur le programme ci-contre représentent un maximum ; dans aucun cas ils ne pourront être dépassés pour les volumes demandés avant leur apparition. Ils seront, au contraire, diminués si le développement de la question traitée n'atteint pas le nombre de pages et de figures sur lesquelles nous avons basé ces prix.*

Avantages des souscriptions immédiates. — Toutefois nous nous réservons d'augmenter le prix de vente, suivant l'importance des ouvrages, pour les exemplaires qui nous seront demandés *après l'apparition des volumes ;* les nombreuses personnes susceptibles d'acquérir un, plusieurs ou l'ensemble des livres de notre Bibliothèque ont donc grand intérêt à nous adresser, dès maintenant, la liste des livres qu'elles désirent recevoir. Plus élevé sera le nombre des souscripteurs, plus grands seront les soins que nous apporterons, à la satisfaction de tous, dans l'exécution, plus parfaite encore, de nos éditions.

Souscription complète. — *Nous acceptons, dès à présent, des souscriptions à la collection entière, qui comprendra 72 volumes, au prix ferme de 590 francs, payables maintenant 20 francs tous les mois ou 60 francs par trimestre.* Ce prix réduit de 590 francs, représente une réduction de plus de 30 0/0 sur le prix des volumes achetés séparément.

Clients étrangers. — Nos clients étrangers, moins intéressés aux divers volumes traitant des questions de droit et d'administration, peuvent souscrire à la partie technique seule pour un prix ferme de 490 francs, payables 45 francs par trimestre. Les questions de droit et d'administration, 20 volumes, sont indiquées en caractères penchés sur le programme.

Souscription à 10 volumes et au-dessus. — La demande de 10 volumes au moins parus ou à paraître, donne droit à une réduction, sur les prix forts marqués au programme, de 10 0/0 pour 10 à 19 volumes, de 15 0/0 pour 20 volumes et au-dessus ; le paiement a lieu par versements trimestriels de 1/8e environ du montant total de la souscription, ou mensuels de 1/20e.

Souscription à une section. — Les prix de souscription de chacune des sections sont indiqués au programme et sont payables 15 francs par trimestre.

Paiements. — *Les paiements ne seront jamais anticipés :* ils seraient suspendus jusqu'à l'apparition de nouveaux volumes, si le montant net des livres reçus était acquitté entièrement. Nos souscripteurs sont priés de joindre à leur commande le montant approximatif de leur premier versement.

Expédition. — Les volumes parus sont expédiés de suite. Les volumes à paraître seront envoyés aussitôt parus.

EXTRAIT DE LA TABLE DES MATIÈRES

DES 57 VOLUMES PARUS

Vendus séparément aux prix indiqués et pouvant être payés en deux fois : la moitié un mois après la réception du volume, l'autre moitié trois mois après le premier versement.

(*La Table complète des matières de chacun des volumes parus est envoyée gratuitement sur demande.*)

MATHÉMATIQUES, par Georges Dariès, ingénieur de la Ville de Paris, licencié ès sciences mathématiques, 2e *édition*. Gr. in-16 de 550 pages, avec 310 fig..... 12 fr.

ANALYSE : Compléments d'algèbre. Calcul différentiel. Calcul intégral. Théorie des équations. GÉOMÉTRIE : Géométrie à deux dimensions. Calcul graphique. Géométrie à trois dimensions.

MÉCANIQUE, HYDRAULIQUE, THERMODYNAMIQUE, par Georges Dariès, ingénieur de la Ville de Paris, inspecteur adjoint de la distribution des eaux. 2e *édition*. Gr. in-16 de 804 pages avec 527 figures et 5 planches. 15 fr.

MÉCANIQUE RATIONNELLE : Cinématique. Statique. Dynamique. HYDRAULIQUE : Hydrostatique. Hydrodynamique. Orifices. Ajutages. Déversoirs. Tuyaux de conduite. Canaux et rivières. Résistance des liquides. Mouvements ondulatoires. Écoulement souterrain. THERMODYNAMIQUE : Principes fondamentaux. Gaz parfaits. Vapeurs saturées. Ecoulement des gaz.

CHIMIE ET PHYSIQUE appliquées aux travaux publics (analyses et essais des matériaux de construction), par J. Malette, conducteur, chimiste à l'Ecole nationale des ponts et chaussées. *Edition modifiée*. Gr. in-16 de 619 pages avec 172 figures..... 12 fr.

RAPPEL DE QUELQUES NOTIONS DE CHIMIE : Lois et principes. Opérations analytiques. Méthodes d'analyse. Réactifs. Classification des métaux. Réactions des corps. RAPPEL DE QUELQUES NOTIONS DE PHYSIQUE : Propriétés de la matière. Pesanteur. Propriétés mécaniques des corps. Hydrostatique. Chaleur. Optique. Electricité. ANALYSE ET ESSAIS DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION : Pierres naturelles. Calcaires. Ardoises. Amendements. Terres. Sables. Bitumes. Asphaltes. Goudrons. Bois. Charbons. Chaux et ciments. Trass et pouzzolanes. Plâtres. Mortiers et bétons. Argiles. Briques et tuiles. Fers. Fontes et aciers. Cuivre. Alliages. Zinc. Blanc de zinc. Plomb. Céruse. Minium. Aluminium. Nickel. Verres. Eaux potables. Appendice.

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX APPLIQUÉE AUX CONSTRUCTIONS. Méthodes pratiques par le calcul et la statique graphique, par E. Aragon, ingénieur des arts et manufactures.

Tome Ier : Gr. in-16 de 662 pages avec 387 fig..... 15 fr.

Préliminaires. Principes de statique graphique. Poutres droites à âme pleine sur deux appuis libres ou encastrés. Applications de la statique graphique dans l'étude des poutres posées sur deux appuis libres. Calculs complets de passerelles, de ponts pour voies de terre et de fer. Cahier des charges. Règlements.

Tome II : Gr. in-16 de 752 pages avec 370 figures..... 15 fr.

Poutres à travées solidaires. Arcs. Ponts suspendus. Piles métalliques. Assemblages des pièces et appareils d'appui. Accessoires divers et pièces de machines. Renseignements divers relatifs au calcul des ponts métalliques.

TOPOGRAPHIE appliquée aux travaux publics, par E. Prévot, conducteur des ponts et chaussées, faisant fonctions d'ingénieur au service du nivellement général de la France, suivi d'un Appendice relatif à la TOPOGRAPHIE EXPÉDIÉE, par O. Roux, conducteur des ponts et chaussées.

Tome Ier : Instruments. Gr. in-16 de 438 pages avec 272 fig. et 1 pl. 12 fr.

Notions préliminaires : Notions élémentaires sur la théorie des erreurs. Etude de quelques organes d'instruments. Mires et stadias. Mesure des angles : Mesure des angles horizontaux. Mesure des angles verticaux. Mesure des distances : Mesure directe des distances. Stadimétrie ou mesure indirecte des distances. Principe de la stadimétrie et généralités. Mesure des altitudes ou nivellement : Nivellement direct ou géométrique. Nivellement trigonométrique. Nivellement barométrique. Mesure simultanée des angles verticaux, des angles horizontaux et des distances : Mesure simultanée des angles horizontaux et verticaux. Théodolites. Mesure simultanée des angles et des distances. Tachéomètres. Instruments spéciaux aux levers souterrains. Instruments de topographie expédiés.

Tome II : Méthodes. Gr. in-16 de 572 pages avec 262 fig. et 5 pl. dont 4 en couleurs..... 15 fr.

Etude générale des méthodes : Généralités. Effets de la courbure de la terre. Méthodes fondamentales de levé relatives à la planimétrie. Méthodes fondamentales de levé relatives au nivellement. Méthodes appropriées aux instruments et particularités d'emploi de ces derniers. Règles générales qui président à l'application des méthodes fondamentales aux levés étendus. Canevas et détails.

Rappel de quelques notions d'astronomie et de géodésie : Applications topographiques de l'astronomie. Détermination de la méridienne. Géodésie. Triangulation.

Applications : Levé des plans d'études. Levé de plans parcellaires et cadastraux. Nivellement général de la France. Levés souterrains. Liste des modèles de tableaux de calculs, avec exemples numériques.

Levés expédiés. Levés spéciaux : Etude du terrain. Application des méthodes et des instruments aux divers genres de levé. Le dessin topographique. Lecture et emploi des cartes topographiques.

MAÇONNERIES, par Eugène Simonet, conducteur des ponts et chaussées, attaché au service municipal de la Ville de Paris. Gr. in-16 de 442 pages avec 102 fig..... 10 fr.

Pierres naturelles : Granits et porphyres. Roches volcaniques. Schistes. Grès. Silex. Meulières. Pierres calcaires. Marbres. Résistance des pierres. Travail des pierres : *sciage, taille, machines à travailler la pierre.*

Pierres artificielles : Argiles. Marne. Briques : *ordinaires, réfractaires, briques légères réfractaires, creuses, vernissées.* Chaux. Ciments. Mortiers : Pierres calcaires. Chaux. Chaux hydrauliques artificielles. Ciments. Pouzzolanes. Laitiers. Analyse chimique : *pierres, chaux, ciments.* Mortiers : *description, résistance.* Plâtre. Maçonneries : Maçonnerie : *de pierre, moellons, meulière, brique.* Construction en fer et ciment. Ciment métallique. Bitume et asphaltes.

Appendice : Devis et cahier des charges. Tableaux des principaux granits, porphyres, pierres volcaniques, grès français et pierres calcaires de France.

BOIS ET MÉTAUX, par E. Aucamus, ingénieur des arts et manufactures, attaché au service du matériel et de la traction des chemins de fer du Nord. Gr. in-16 de 335 pages avec 288 fig..... 8 fr.

Bois : Classification des bois. Qualités et défauts. Préparation des bois. Assemblages. Machines-outils. Résistance et essais des bois. Métaux : Notions générales de métallurgie. Fer. Fonte. Acier. Fabrication des fers spéciaux et des tôles. Travail des métaux. Machines-outils. Assemblages divers. Rivure. Essai et résistance des métaux.

TRACÉ ET TERRASSEMENTS, par P. Frick, ingénieur des constructions civiles, chevalier du Mérite agricole, et J.-L. Canaud, conducteur des ponts et chaussées, chef de section des chemins de fer. Gr. in-16 de 669 pages, avec 317 fig..... 15 fr.

Tracé : Considérations générales. Etude et détermination d'un tracé. Comparaison des tracés. Détermination définitive du plan et du profil en long. Cubature des terrasses. Calcul des profils en travers. Mouvement des terres.

Exécution des terrassements : Mode d'exécution des déblais ou remblais : *Des sondages. Des déblais. Des remblais.* Transports. Organisation d'un chantier de terrassements : *Chantiers à la brouette, au tombereau, aux wagonnets, aux wagonnets avec traction par chevaux, aux grands wagons sur voie de 1 mètre, de déchargement; exécution des remblais.* Assainissements. Drainages. Réparations : Assainissements et drainage des tranchées : *Des*

talus de déblais. Murs de soutènement divers. Précautions à prendre dans l'exécution des remblais. Réparations des éboulements. Entretien des terrassements. ANNEXES : Note sur la pratique des opérations sur le terrain. Note sur les méthodes nord-américaines de terrassements. Note sur les courbes de raccordements. Note sur les raccordements paraboliques. Formules relatives aux principaux cas de raccordements. APPENDICE : Note sur la présentation des projets.

FOUILLES ET FONDATIONS, par P. Frick, ingénieur des constructions civiles. In-16 12 × 18 de 500 pages, avec 350 figures..... 12 fr.

GÉNÉRALITÉS. SONDAGES. *Première partie :* FOUILLES ET FONDATIONS A L'AIR LIBRE. Fondations par fouilles directes jusqu'au solide. Assèchements des fouilles. Epuisements. Procédés divers d'assèchement. Fondations sur supports discontinus. Pieux et pilotis. Puits. Havage. Cas spéciaux. *Deuxième partie :* FOUILLES ET FONDATIONS SOUS L'EAU. Fouilles sous l'eau. Dragage. Dérochements. Batardeaux. Caissons. Fondations sous l'eau. Béton immergé. Radiers généraux. Pilotis. Havage. *Troisième partie :* AIR COMPRIMÉ. Cloches. Scaphandres. Fondations par caissons à air comprimé. Caissons particuliers, amovibles, mobiles, en maçonnerie. Effets physiologiques de l'air comprimé, mesures hygiéniques. Déblais souterrains. Tunnels. Modes d'exécution. Procédés spéciaux. Tunnels en terrains difficiles. Accidents.

Annexe : LE BÉTON ARMÉ. Généralités, Méthodes de calculs. Divers systèmes. Applications. Métal déployé.

DROIT CIVIL, par Louis Martin, avocat, professeur libre de droit. Gr. in-16 de 500 pages..... 8 fr.

INTRODUCTION : Notions générales.

DES PERSONNES : De la jouissance et de la privation des droits civils. Des actes de l'état civil. Du domicile. De l'absence. Du mariage. Du divorce. De la paternité et de la filiation. De l'adoption. De la puissance paternelle. Minorité. Tutelle. Emancipation. De la majorité. De l'interdiction et du conseil judiciaire.

DES BIENS : De la distinction des biens. De la propriété, de l'usufruit, de l'usage et de l'habitation. Des servitudes ou services fonciers.

DES DIFFÉRENTES MANIÈRES DONT ON ACQUIERT LA PROPRIÉTÉ : Des successions. Des donations entre vifs et des testaments. Des contrats ou des obligations conventionnelles. Des engagements qui se forment sans convention. Du contrat de mariage et des droits respectifs des époux. De la vente. De l'échange. Du contrat de louage. Du contrat de société. Du prêt. Du dépôt et du séquestre. Des contrats aléatoires. Du mandat. Du cautionnement. Des transactions. De la contrainte par corps. Du nantissement. Des privilèges et hypothèques. De la prescription.

DROIT ADMINISTRATIF, par Paul Touzac, licencié en droit, rédacteur au Ministère des Travaux publics. Gr. in-16 de 511 pages..... 9 fr.

NOTIONS GÉNÉRALES DE DROIT POLITIQUE OU CONSTITUTIONNEL : Les droits de l'homme et du citoyen. Organisation des pouvoirs publics, pouvoir législatif, pouvoir exécutif. DROIT ADMINISTRATIF : L'Etat. Le département. L'arrondissement. La commune. Le département de la Seine et les villes de Paris et de Lyon. L'Algérie, les colonies et les pays de protectorat. Les établissements publics et d'utilité publique. Indépendance de l'autorité administrative à l'égard de l'autorité judiciaire.

DROIT COMMERCIAL ET LÉGISLATION INDUSTRIELLE, par L. Martin, professeur libre de droit, membre de la Chambre des députés. Gr. in-16 de 671 pages..... 10 fr.

DROIT COMMERCIAL. DU COMMERCE EN GÉNÉRAL : Des commerçants. Des livres de commerce. Des sociétés. Des séparations de biens. Des bourses de commerce, agents de change et courtiers. Du gage et des commissionnaires. Des ventes et achats. De la lettre de change, du billet à ordre et de la prescription.

DU COMMERCE MARITIME : Des navires et autres bâtiments de mer. De la saisie et vente des navires. Des propriétaires de navires. Du capitaine. De l'engagement et des loyers des matelots et gens de l'équipage. Des chartres parties, affrètements ou nolisements. Du connaissement. Du fret ou nolis. Des contrats à la grosse. Des assurances. Des avaries. Du jet et de la contribution. Des prescriptions. Fins de non-recevoir.

DES FAILLITES ET DES BANQUEROUTES ET DES LIQUIDATIONS JUDICIAIRES : De la faillite. Des ban-

queroutes. De la réhabilitation. De la liquidation judiciaire. Juridiction commerciale. De l'organisation des tribunaux de commerce. Compétence et forme de procéder. Des conseils de prud'hommes.

Législation industrielle : Législation du travail. Des contrats industriels. La propriété industrielle : *Brevets d'invention, marques de fabrique, contrefaçon, secrets de fabrication, concurrence déloyale, propriété littéraire et artistique.* Loi du 9 avril 1898 sur la responsabilité des accidents du travail.

PROCÉDURE CIVILE ET DROIT PÉNAL, par L. Martin, avocat, professeur libre de droit. Gr. in-16 de 452 pages..... 8 fr.

Procédure civile : Organisation judiciaire. Procédure devant les tribunaux. Procédures diverses.

Droit pénal. Code pénal : Dispositions préliminaires. Des peines en matière criminelle, correctionnelle et de leurs effets. Des personnes punissables, excusables ou responsables pour crimes et délits. Des crimes et délits et de leur punition. Contravention de police.

Instruction criminelle : Code. Dispositions préliminaires. De la police judiciaire et des officiers de police qui l'exercent. De la justice.

EXÉCUTION DES TRAVAUX PUBLICS, par E. Dardart, conducteur principal des ponts et chaussées. Gr. in-16 de 632 pages..... 12 fr.

Des travaux publics au point de vue des finances publiques : Notions générales sur la comptabilité publique. Travaux exécutés : *sur les fonds de l'Etat, des départements, communaux.* Règlement général sur la comptabilité publique. Division des travaux publics. Dépenses des travaux publics.

Du mode d'exécution des travaux publics : Notions générales. Les marchés ou entreprises de travaux publics. Des rapports de l'Administration avec les propriétaires à l'occasion des travaux publics. Annexes : Ordonnances. Décrets. Instructions, etc.

ORGANISATION DES SERVICES DE TRAVAUX PUBLICS en France, par E. Campredon, ingénieur civil des mines. Gr. in-16 de 416 pages. 8 fr.

Service des Ponts et Chaussées : Etude historique, organisation du personnel. Fonctions. Mode de procéder. Tenue des bureaux.

Service des Mines : Etude historique. Organisation du personnel. Fonctions. Mode de procéder. Tenue des bureaux.

Service des Chemins de fer : Etude historique. Organisation du personnel. Fonctions. Mode de procéder et tenue des bureaux. Service des chemins de fer de l'Etat.

Services d'intérêt collectif : Service départemental. Service communal. Service de la ville de Paris. Services des associations syndicales. Services des autres travaux d'intérêt public.

Services auxiliaires : Service colonial. Service du Ministère de l'Instruction publique, des Beaux-Arts et des Cultes. Service du Ministère de l'Agriculture. Services des Ministères de la Guerre et de la Marine. Service du Ministère de l'Intérieur. Service du Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et Télégraphes. Service du Ministère des Finances.

COMPTABILITÉ DES TRAVAUX PUBLICS et tenue des bureaux des services de ponts et chaussées, par E. Herbert, ex-conducteur des ponts et chaussées, secrétaire-régisseur de l'Ecole nationale des mines. Preface de M. L. Durand-Claye, inspecteur général des ponts et chaussées en retraite. Gr. in-16 de 520 pages..... 12 fr.

Règlement provisoire de 1878 sur la comptabilité des dépenses du Ministère des Travaux publics et nomenclature des pièces à produire aux trésoriers-payeurs généraux pour le paiement des dépenses du Ministère, mis à jour au 1er janvier 1898. Lois et règlement sur le timbre de l'enregistrement. Règlement spécial de 1849 sur la comptabilité du Ministère des Travaux publics, mis à jour au 1er janvier 1898. Frais divers de services. Instruction de 1878 sur la tenue des bureaux des services des Ponts et Chaussées, mis à jour au 1er janvier 1898. Comptabilité des services d'architecture et des promenades et plantations de la Ville de Paris. Retraites des cantonniers de l'Etat. Secours aux ouvriers blessés. Table des documents par ordre chronologique. Table des matières par ordre alphabétique. Table des modèles de formules annexés aux divers règlements. Table de concordance entre les règlements de 1849, 1849 et 1878.

COMPTABILITÉ DÉPARTEMENTALE, VICINALE, COMMUNALE ET COMMERCIALE, par E. Dardart, sous-ingénieur des ponts et chaussées, A. Bonnal, ingénieur civil, et Ch. Orrier, expert comptable. In-16 12 × 18 de 778 pages..... 12 fr.

COMPTABILITÉ DÉPARTEMENTALE. Introduction. Disposition générale. Du budget et des crédits. Recettes budgétaires. Dépenses budgétaires. Des écritures du Préfet. Des écritures du Trésorier-Payeur général. Des comptes du département. Conservation du mobilier départemental. Dispositions finales. Nomenclature des pièces et des justifications à produire. *Service hors budget. Comptabilité des recettes et des dépenses de la Ville de Paris.*

COMPTABILITÉ DES CHEMINS VICINAUX. Généralités. Création et répartition des ressources. Exécution des travaux. Comptabilité : de l'agent voyer cantonal ; du régisseur comptable ; de l'agent voyer en chef ; du Maire ; du receveur municipal. Justification des recettes et des dépenses. Comptabilité : du Préfet, du Trésorier-Payeur général. Inventaire. Législation. *Chemins vicinaux du département de la Seine.*

COMPTABILITÉ DES CHEMINS RURAUX. Législation. Règlement général. Comptabilité : du Maire ; des receveurs municipaux. Justification.

COMPTABILITÉ COMMUNALE. Du budget. Enumération et classement des charges et des ressources financières des communes. Ressources dont les communes ne peuvent bénéficier sans l'agrément de l'autorité supérieure. Du receveur municipal. Recouvrement des produits. Quittances. Non-valeurs. Emploi des crédits. Liquidation et ordonnancement. Ecritures du Maire. Comptabilités occultes. *Annexes diverses.*

COMPTABILITÉ COMMERCIALE. Généralités. Différents genres de commerces et d'industries. Comptes. Actes de commerce. Formes à donner à la comptabilité. Modèles de réglures des livres. *Participation aux bénéfices :* Comment on doit l'entendre. Participation intégrale. Participation limitée. Participants. Contrats ou conventions de participation.

ROLE ÉCONOMIQUE ET SOCIAL DES VOIES DE COMMUNICATION, par E. Campredon, ingénieur civil des mines, inspecteur départemental du travail dans l'industrie. Gr. in-16 de 515 pages ..... 10 fr.

LE RÔLE ÉCONOMIQUE DES VOIES DE COMMUNICATION : Les routes. Les voies ferrées. Les voies navigables. Les voies maritimes. Les voies électriques.

LE RÔLE SOCIAL DES VOIES DE COMMUNICATION.

RAPPORTS DE SERVICE, par A. Dardart, sous-ingénieur des ponts et chaussées en retraite, et Ph. Dufour, commis principal des ponts et chaussées, lauréat de l'Académie française ; et **STÉNOGRAPHIE,** par Zryd, conducteur des ponts et chaussées, professeur. Gr. in-16 de 716 p. avec fig. 12 fr.

Rapports et style en général. Mots et images. Phrases et figures. Considérations générales sur les langues et les mots. Archaïsmes. Synonymes. Solécismes. Citations latines et étrangères. Homonymes. Paronymes. Verbes. Ponctuation. Orthographe. Liaisons. Logique. Morale. Disposition extérieure d'un rapport. Documents, discours et rapport. — *Sténographie, Dactylographie, Langues universelles.*

HYGIÈNE et secours et premiers soins à donner aux malades et aux blessés, par le docteur J. Noir, professeur des Ecoles municipales d'infirmières de la Ville de Paris. Gr. in-16 de 320 pages avec 79 fig..... 7 fr. 50

Hygiène générale. Les milieux naturels : *L'atmosphère, sa composition, ses propriétés. Le sol, l'eau, les climats.* Les milieux artificiels : *L'habitation. Les vêtements.* Alimentation : *Aliments solides, les boissons, art culinaire.* Hygiène du corps : *Soins de propreté corporelle, Hydrothérapie, travail physique et intellectuel, gymnastique, sports, surmenages.* Hygiène publique. Hygiène industrielle et professionnelle : *Le milieu industriel, les dangers des matières mises en œuvre, influence de l'outillage sur l'ouvrier et dangers auxquels il expose, hygiène du bureau.* Secours et premiers soins à donner en cas d'accidents aux malades et aux blessés. Le corps humain et ses diverses fonctions, soins et secours urgents, secours et soins aux blessés.

ROUTES ET CHEMINS VICINAUX, par O. Roux, conducteur des ponts et chaussées. Gr. in-16 de 575 pages avec 275 fig..... 12 fr.

CLASSIFICATION DES VOIES DE TERRE : Dénomination des différentes voies. Etude sommaire de leurs diverses parties. Statistique.

Période des études : Tracé. Rédaction de l'avant-projet. Rédaction du projet définitif.

Travaux neufs et d'entretien : Piquetage. Terrassements. Chaussées. Les cantonniers. Plantations. Le budget des routes.

Chemins vicinaux : Ressources et budgets. Les prestations. Le budget communal. Le budget départemental. Notes sur le cheval et la voiture.

VOIE PUBLIQUE, par Georges Lefebvre, conducteur des ponts et chaussées, attaché au service municipal de la voie publique et du nettoiement de la ville de Paris. Gr. in-16 de 520 pages avec 140 fig..... 12 fr.

Généralités : Tracé, alignements. Chaussées pavées en pierre. Chaussées en empierrement. Chaussées en asphalte comprimé. Chaussées pavées en bois. Chaussées mixtes et diverses. Trottoirs et contre-allées. Travaux de viabilité. Nettoiement, arrosement et enlèvement des neiges et glaces. Pratique du service.

DISTRIBUTIONS D'EAU, par G. Dariès, conducteur au service des Eaux de Paris, licencié ès sciences, professeur d'hydraulique à l'Ecole spéciale des travaux publics. Gr. in-16 de 566 pages avec 400 fig..... 15 fr.

Généralités. De la qualité des eaux. Eaux souterraines. Consommation. Puisage et captation des eaux. Adduction des eaux. Procédés de filtrage et d'épuration. Machines élévatoires. Réservoirs. Conduites de distribution. Appareils publics. Service dans la maison. Entretien des canalisations. Exploitation. Vente de l'eau. Annexes.

ASSAINISSEMENT DES VILLES ET ÉGOUTS DE PARIS, par Paul Wéry, chef du bureau du service des égouts. Gr. in-16 de 663 pages avec 434 fig..... 18 fr.

Assainissement des villes : Evacuation des eaux. Réservoirs de vidange. Canalisations spéciales. Système fonctionnant par simple gravitation. Système dit tout à l'égout. Projet d'assainissement d'une ville par le système du tout à l'egout. Entretien du réseau d'égouts et de canalisations. Extension du service de la distribution d'eau. De la salubrité des voies publiques. Utilisation agricole des eaux d'égouts. Prix composés applicables à la construction des égouts, canalisations, branchements de regards et de bouche, et réservoirs de chasse. Assainissement de l'habitation par le tout à l'égout. Devis estimatifs et types divers d'assainissement de maisons. De l'assainissement dans certaines villes de France et de l'étranger. Assainissement de la Seine. Devis et cahier des charges, bordereau de l'entreprise des travaux de maçonnerie, charpente, etc., du service d'assainissement.

Les égouts de Paris : Historique. Description du réseau d'égouts parisiens. Collecteur de Clichy et siphon de la Concorde. Profil des égouts. Ouvrages accessoires des égouts. De l'exploitation des égouts.

PLANTATIONS D'ALIGNEMENT, PROMENADES, PARCS ET JARDINS PUBLICS, par G. Lefebvre, conducteur des ponts et chaussées, chef de circonscription des services techniques municipaux de la Ville de Paris. Grand in-16 de 357 pages avec 336 fig. et 1 pl..... 11 fr.

Introduction : Règne végétal.

Plantations d'alignement : Dispositions des plantations et choix des essences. Exécution des plantations. Entretien des plantations. Maladies des plantations d'alignement. Renseignements statistiques.

Promenades et jardins publics : L'art du dessinateur de jardins. Etude des projets de parcs et jardins publics. Construction d'un parc ou jardin public. Entretien des parcs et jardins publics. Projet de jardin public.

Appendice : Pratique du service. Devis et cahier des charges de l'entreprise de transplantation d'arbres au chariot. Entreprise des travaux relatifs à l'irrigation et au drainage des plantations, à la pose des grilles d'arbres et des bancs. Cahier des charges et bordereau des prix pour les travaux neufs et d'entretien à exécuter aux plantations d'alignement et promenades de Paris, ainsi qu'aux bois de Boulogne et de Vincennes.

ÉCLAIRAGE, par B. Saint-Paul, conducteur municipal, chef du service technique de l'éclairage de la 1re section de la Ville de Paris, et L. Galine, ingénieur des arts et manufactures. 2e *édition*. Gr. in-16 de 697 pages avec 308 fig..... 15 fr.

Eclairage aux huiles végétale et minérales : Eclairage à l'huile végétale : *Fabrication de l'huile. Lampes à l'huile.* Traitement des huiles minérales : *Exploitation des gisements. Raffinage de l'huile minérale.* Eclairage aux huiles minérales : *Eclairage à l'essence. Lampes au pétrole. Eclairage aux huiles lourdes.*

Eclairage au gaz : Distillation de la houille : *Production du gaz. Sous-produits.* Distribution du gaz. Brûleurs : *à air libre, intensifs à air froid, à air chaud, à incandescence, à gaz carburé. Appareils de réglage.* Eclairage privé et public. Gaz spéciaux : acétylène, gaz riche, gaz de bois, gaz à l'eau, gaz à l'air.

Eclairage électrique : Arc voltaïque et incandescence. *Production de l'arc, régulateurs, bougies électriques, lampes à incandescence.* Montage des lampes. Photométrie. Projets d'éclairage : *gaz, électricité.*

LÉGISLATION DES EAUX, par L. Courcelle, avocat, et E. Dardart, sous-ingénieur des ponts et chaussées. Gr. in-16 de 954 pages..... 15 fr.

Eaux pluviales, sources, eaux souterraines. Rivières flottables à bûches perdues. Cours d'eau navigables ou flottables par trains ou radeaux. Canaux de navigation. Irrigation. Alimentation en eaux des communes. Travaux de défense contre les eaux, endiguements. Etangs et marais. Mer territoriale et rivages de la mer. Ports maritimes de commerce. Eclairage et balisage des côtes. Marine marchande. Documents législatifs, administratifs et judiciaires.

CHEMINS DE FER, CONSTRUCTION ET VOIE, par A. Sirot, conducteur principal des ponts et chaussées, ancien chef de section aux chemins de fer de l'Etat. Gr. in-16 de 495 pages avec 270 fig. et 12 pl..... 12 fr. 50

Etudes : Etudes préliminaires : *Enquête d'utilité publique, avant-projet.* Etudes définitives : *Projet de tracé et de terrassements, projet définitif. Avant-métré.*

Construction. Infrastructure : Plate-forme : *Terrassements, consolidation des talus.* Ouvrages d'art : *Ouvrages d'art ordinaires, ouvrages pour assurer l'écoulement des eaux, ouvrages pour le maintien des voies de communication, grands ponts et viaducs, souterrains, accidents sur les chantiers.* Dépense kilométrique de l'infrastructure de diverses lignes.

Superstructure : Voie : Rails, *traverses, accessoires de la voie, changements de voies, croisements de voie, plaques tournantes, chariots transbordeurs, alimentation en eau des machines, fosse à piquer le feu, signaux, prix de revient des appareils de la voie.* Gares et stations : *Dispositions et accessoires des gares, service des marchandises.* Entretien et surveillance : Prescriptions de grande voirie.

CHEMINS DE FER. LOCOMOTIVE ET MATÉRIEL ROULANT, par Maurice Demoulin, ingénieur des arts et manufactures. Gr. in-16 de 402 pages avec 215 fig. et 11 pl..... 12 fr.

La locomotive : Considérations générales. La chaudière. Le mécanisme. Le véhicule. Le tender et la locomotive-tender. Principaux types de locomotives. Description de quelques locomotives de construction récente. Les locomotives compound.

Le matériel roulant : Considérations générales. Construction des voitures et wagons. Description de quelques types de voitures. Freins.

EXPLOITATION TECHNIQUE DES CHEMINS DE FER, par L. Galine, ingénieur des arts et manufactures, inspecteur à la Compagnie des chemins de fer du Nord. Gr. in-16 de 704 pages avec 309 fig..... 16 fr.

Aménagement des gares : Service des voyageurs. Service des marchandises. Construction. Signaux : Code des signaux. Construction. Concentration des leviers. Enclenchements. Mouvement des trains : Marche des trains. Block-system. Voie unique. Vitesse des trains. Pratique du service : Exploitation. Matériel et traction. Matériel. Voie.

TRAMWAYS ET AUTOMOBILES, par E. Aucamus, ingénieur des arts et manufactures, chef d'atelier à la Compagnie des chemins de fer du Nord, et L. Galine, ingénieur des arts et manufactures, inspecteur à la Compagnie des chemins de fer du Nord. Gr. in-16 de 481 pages, avec 234 fig..... 12 fr.

Tramways : Résistance à la traction. Voie. Matériel et traction. Tramways où l'énergie est produite directement sur le véhicule : *à traction animale, à vapeur, chemins de fer à cré-*

maitère. Tramways où l'énergie provenant d'une usine centrale est fournie à chaque [illegible] par des câbles ou conducteurs : *Tramways funiculaires, tramways électriques par c[illegible]*. L'énergie produite dans une usine centrale est emmagasinée dans les véhicules pour un certain parcours : *Traction par accumulateurs électriques, locomotives sans foyer, tra[illegible] par l'air comprimé, tramways à gaz, systèmes divers.*

Automobiles : Classification. Résistance. Construction des automobiles. Moteurs. Automobiles à pétrole : *Moteurs à pétrole, voitures ordinaires et voitures lourdes. Motocycles et [illegible]rettes.* Automobiles à vapeur. Automobiles électriques. Annexes : Règlements, circulaires, [illegible]

CONTROLE DES CHEMINS DE FER ET DES TRAMWAYS, par J. de La Ruelle, avocat, rédacteur au Ministère des Travaux publics. Gr. in-16 de 733 pages..... 12 fr.

Caractères généraux du droit de contrôle de l'Etat : Sa nature. Sa raison d'être. Son origine. Organisation du contrôle de l'Etat sur les chemins de fer : Contrôle de la construction. Contrôle de l'exploitation. Rôle et attributions des différents fonctionnaires du contrôle : Administration centrale : *Ministère des Travaux publics, préfets.* Contrôle technique : *Directeur, ingénieur en chef et ingénieurs des ponts et chaussées et des mines, conducteurs, contrôleurs et commis.* Contrôle commercial : *Directeur, contrôleur gén[illegible], inspecteurs principaux et particuliers.* Contrôle technique et commercial. Police : *Commissaires de surveillance et commissaires spéciaux.* Contrôle du travail : *Ingénieurs en chef et ingénieurs des ponts et chaussées et des mines, contrôleurs du travail, co[illegible] du travail du réseau de l'Etat.* Exercice du droit de contrôle. Tenue des bureaux. Un[illegible] du contrôle financier, son organisation. Conseils, comités et commissions institués auprès du ministère des travaux publics et ayant des attributions en matière de chemins de fer. Chemins de fer de l'Etat. Chemins de fer d'intérêt local et tramways. Lignes diverses : Contrôle des chemins de fer d'intérêt local et des tramways. Contrôle des chemins de fer miniers et des chemins de fer industriels. Contrôle des voies ferrées des quais des ports maritimes et fluviaux. Réseaux algériens et tunisiens : Organisation du contrôle des voies ferrées.

Personnel du contrôle : Recrutement du personnel spécialisé. Renseignements divers : Positions diverses. Traitements et allocations. Retraites. Uniforme. Annexes : Lois, décrets, arrêtés, ordonnances, etc.

GÉOLOGIE ET MINÉRALOGIE APPLIQUÉES. Les minéraux utiles et leurs gisements, par H. Charpentier, ingénieur civil des mines. Gr. in-16 de 643 pages avec 115 fig..... 12 fr.

Précis de géologie générale avec éléments de minéralogie et de paléontologie. Phénomènes actuels. Formation de l'écorce terrestre. Chronologie géologique.

Géologie appliquée proprement dite : Considérations générales. Etude d'un gisement. Matériaux de construction et roches employées dans les travaux publics. Minéraux employés dans la métallurgie. Le carbone et ses composés. Combustibles minéraux et hydrocarbures. Minéraux employés en agriculture. Minéraux employés dans les industries diverses. Métaux rares. Pierres précieuses, gemmes.

EXPLOITATION DES MINES, par Félix Colomer, ingénieur civil des mines. *2e édition.* Gr. in-16 de 344 pages avec 176 fig..... 9 fr.

Mise en exploitation : Exploitations faciles. Sondages. Aménagement du gîte. Méthode d'exploitation.

Extraction du minerai : Abatage. Roulage. Extraction.

Services généraux d'une exploitation : Epuisement des eaux. Aérage. Installations extérieures. Prix de revient. Avant-projet de puits de mine.

CHAUDIÈRES A VAPEUR, par J. Dejust, ingénieur des arts et manufactures, répétiteur à l'Ecole centrale, professeur à la Fédération des mécaniciens et chauffeurs. Gr. in-16 de 562 pages avec 394 fig. et 2 pl ..... 12 fr.

Introduction. Généralités. Production de la chaleur : Formation et propriétés de la vapeur d'eau. Combustion et combustibles. Foyers. Chaudières a vapeur : Généralités. Classification et étude des divers types de chaudières. Etablissement des chaudières.

Organes accessoires des chaudières : Appareils de sûreté. Appareils annexes. Divers. Accidents et explosions de chaudières. Conduite et entretien des chaudières. Transport de la vapeur : Généralités. Détails des canalisations. Appareils accessoires des canalisations. Calcul

du diamètre des canalisations. Concours pour construction et installations de générateurs. Calcul des dimensions d'une chaudière.

MACHINES A VAPEUR et machines thermiques diverses, par J. Dejust, ingénieur des arts et manufactures, répétiteur à l'Ecole centrale, professeur à la fédération des mécaniciens et chauffeurs. Gr. in-16 de 600 pages avec 407 fig..... ..... 15 fr.

Généralités sur les machines thermiques : *Historique, application de la thermodynamique.* Machines a vapeur : Classification. Fonctionnement d'une machine à vapeur à mouvement alternatif. Détermination des dimensions. Organes de la machine à vapeur à mouvement alternatif et à cylindre unique. Etude des divers systèmes de distribution et de détente des machines à cylindre unique. Distribution et détente dans les machines à plusieurs cylindres. Condensation de la vapeur. Classification et étude des machines à piston et à mouvement alternatif au point de vue du genre de travail qu'elles ont à produire. Rendement, comparaison et choix des machines. Machines oscillantes. Machines rotatives. Machines sans piston et à pression directe. Machines où la vapeur agit par sa puissance vive.

Machines thermiques employant un autre intermédiaire que la vapeur. Moteurs à air chaud. Moteurs à gaz. Moteurs à pétrole. Machines thermiques diverses. Achat, installation, réception et entretien des machines thermiques.

MACHINES HYDRAULIQUES, par F. Chaudy, ingénieur des arts et manufactures. Gr. in-16 de 402 pages avec 300 fig..... 10 fr.

Récepteurs hydrauliques : Chutes d'eau. Turbines. Considérations générales. Roues. Etablissement des turbines et des roues hydrauliques. Machines à colonne d'eau. Bélier hydraulique. Machines élévatoires : Pompes à piston à mouvement alternatif. Pompes à piston rotatif. Pompes centrifuges. Machines élévatoires diverses.

Propulseurs hydrauliques : Roues à aubes. Hélices. *Presses hydrauliques :* Considérations générales. Presses verticales. Presses horizontales Cockerill. Observations et appareils divers basés sur la presse hydraulique. Applications de la presse hydraulique au travail des métaux.

LÉGISLATION MINIÈRE ET CONTROLE DES MINES, par Cuvillier, contrôleur principal des mines. Gr. in-16 de 778 pages..... 12 fr.

Régime légal de la propriété des mines : Conception de la propriété des mines. Historique. Classification légale des substances minérales. Recherche de mines. Obtention des concessions. Recours et interprétation des actes de concession. Devoirs des concessionnaires : *vis-à-vis des inventeurs, des explorateurs, des propriétaires du sol, envers l'Etat.* Droits des concessionnaires. Régime de l'exploitation. Contrôle : Surveillance administrative de l'exploitation des mines. Anciennes concessions. Mines de sel. Mines et minières de fer. Terres pyriteuses et alumineuses. Usines métallurgiques. Tourbières. Carrières. Juridiction et pénalités. Personnel occupé dans les exploitations minérales. Personnel de l'administration des mines.

Documents législatifs sur les mines, minières et carrières : Législation de la métropole. Législation coloniale.

LÉGISLATION ET CONTROLE DES APPAREILS A VAPEUR, par T. Cuvillier, contrôleur principal des mines. Gr. in-16 de 388 pages..... 8 fr.

Législation actuelle des appareils a vapeur : Dispositions pénales. Règlements d'administration publique : Appareils à vapeur fonctionnant sur terre et sur l'eau, statistique générale des appareils à vapeur en 1895. Contrôle des appareils a vapeur : Personnel chargé en France du contrôle des appareils à vapeur. Nature du contrôle exercé. Attributions ordinaires et service courant des contrôleurs des mines. Appendice : Renseignements d'ordre technique, législatif et social.

ARCHITECTURE, par Albert Hébrard, architecte diplômé par le gouvernement, sous-inspecteur au palais des beaux-arts. Gr. in-16 de 434 pages avec 371 fig..... 15 fr.

Etude analytique des divers éléments de construction et de décoration : Fondations. Murs. Supports isolés avec entablement. Arcades. Bases, couronnement et saillies des murs. Percement des murs : *portes et fenêtres.* Plafonds et voûtes, Escaliers, cheminées et ravé-

tement des sols. Couvertures. Composition des édifices : Principes généraux de la composition. Principales parties des édifices. Hygiène des édifices. Exécution des travaux : Organisation du chantier. Direction et surveillance des travaux.

CHARPENTE ET COUVERTURE, par E. Aldebert, ingénieur des arts et manufactures, agent voyer cantonal, et E. Aucamus, ingénieur des arts et manufactures, sous-chef d'atelier à la Compagnie du Nord. Gr. in-16 de 370 pages avec 421 fig..... 10 fr.

Charpentes en bois : Des bois. Des assemblages. Planchers en bois. Pans de bois. Escaliers. Des combles. Etais et échafaudages.

Charpentes en fer : Travail du fer. Des assemblages. Des planches en fer. Pans de fer. poteaux et colonnes. Escaliers en fer. Combles métalliques.

Couverture des bâtiments : Matériaux et leur emploi. Couverture en tuiles. Couverture en ardoise. Couverture en verre. Couverture en zinc, en tôle ondulée, en plomb et en cuivre. Chéneaux et gouttières.

Annexe : Extrait du règlement sur la hauteur des maisons dans la Ville de Paris.

MENUISERIE, SERRURERIE, PLOMBERIE, PEINTURE ET VITRERIE, par E. Aucamus, ingénieur des arts et manufactures, sous-chef d'atelier à la Compagnie du Nord. Gr. in-16 de 352 pages avec 204 fig..... 10 fr.

Menuiserie : Généralités : *Définitions, matériaux, quincaillerie, outillage de menuisier, assemblages, moulures, établissement des bois.* Menuiserie du bâtiment : Classification, lambris, portes, croisées, persiennes, échelles et escaliers. Parquets. Extraits d'un devis et cahier des charges. Nomenclature et explication des termes techniques de menuiserie.

Serrurerie : Généralités. Chaînages. Ferrements de menuiserie. Serrures. Clôtures et ouvrages divers. Extrait d'un cahier des charges. Nomenclature et explication des principaux termes techniques de menuiserie.

Plomberie : Généralités. Outillage. Soudures. Plomberie du bâtiment. Extrait d'un devis et cahier des charges. Nomenclature et explication des principaux termes techniques de plomberie.

Peinture : Généralités. Outillage, matériaux. De la peinture. Nomenclature et explication des principaux termes techniques de peinture.

Vitrerie : Généralités. Outillage, matériaux. Tenture. Extrait d'un devis et cahier des charges. Travaux de peinture, de vitrerie et de tenture.

FUMISTERIE, CHAUFFAGE ET VENTILATION, par E. Aucamus, ingénieur des arts et manufactures, chef d'atelier à la Compagnie des chemins de fer du Nord. Gr. in-16 de 290 pages avec 213 fig..... 10 fr.

Fumisterie : Généralités. Matériaux et outillage. Travaux de fumisterie. Ordonnances et règlements.

Chauffage : Considérations théoriques. Cheminées d'appartements. Poêles. Chauffage au gaz d'éclairage. Calorifères. Chauffage continu par l'air chaud. Chauffage par l'eau chaude. Chauffage par la vapeur. Calculs relatifs à l'établissement d'un projet de chauffage.

Ventilation : Ventilation naturelle. Ventilation par cheminée chauffée. Ventilation mécanique. Note sur l'acoustique des salles de réunion.

DEVIS ET ÉVALUATIONS DES TRAVAUX PUBLICS ET DES CONSTRUCTIONS CIVILES, par A. Bonnal, ingénieur civil, et E. Dardart, conducteur principal des ponts et chaussées. In-8° de 714 pages avec 87 fig... 15 fr.

Terrassements. Maçonneries. Charpente. Couverture, plomberie, zingage, canalisation, menuiserie, serrurerie, quincaillerie. Peinture, goudronnage, vitrerie, miroiterie, dorure, tenture. Fumisterie, marbrerie, stuc. Empierrements, pavage, granit, asphalte et bitume. Locomotive et matériel roulant. Voie. Chauffage, éclairage, graissage, vidange, désinfection. Devis divers. Transport des matériaux de construction. Conditions d'exécution des travaux publics. Métrés des ouvrages et exemples d'établissement de prix de revient.

AGRICULTURE, par F. Pradès, ancien conducteur des ponts et chaussées, rédacteur au Ministère de l'Agriculture. Gr. in-16 de 423 pages avec 90 fig..... 9 fr.

Météorologie et climatologie agricoles. Géologie agricole. Physiologie végétale. Instruments et procédés d'agriculture. Amendements et engrais. Cultures diverses. Viticulture. Sylviculture.

HYDRAULIQUE AGRICOLE, par P. Lévy-Salvador, ingénieur des constructions civiles, attaché à la direction de l'hydraulique agricole au Ministère de l'Agriculture. Ouvrage médaillé par la Société nationale d'Agriculture de France.

Tome Ier. — Cours d'eau non navigables ni flottables. Gr. in-16 de 483 pages avec 171 fig. et 6 pl..... 12 fr.

Réglementation des prises d'eau sur cours d'eau non navigables ni flottables : Généralités. Dispositions générales des prises d'eau d'usines. Dispositions particulières des ouvrages de retenue et de décharge. Exemple de la réglementation d'un barrage d'usine. Réglementation des barrages dans des conditions spéciales. Opérations et études nécessitées par la réglementation des usines. Récolement des ouvrages. Revision des règlements. Réglementation des barrages d'irrigation et de submersion.

Entretien et amélioration des cours d'eau non navigables ni flottables : Considérations générales sur les cours d'eau. Curages. Faucardements. Suppression des obstacles à l'écoulement des eaux. Endiguements. Défenses des rives. Annexes.

Tome II. — Des irrigations. Gr. in-16 de 668 pages avec 459 fig. et 18 pl..... 15 fr.

Irrigations : Généralités. Mode d'établissement des canaux d'irrigation. Des prises d'eau. Ouvrages d'art. Ouvrages d'art exceptionnels et spéciaux. Des barrages-réservoirs. Des lacs-réservoirs. Des appareils élévatoires. Des canaux secondaires et rigoles d'arrosage. Etude du réseau de distribution. Distribution des eaux des canaux d'irrigation. Utilisation de l'eau par les intéressés. Concession et administration des canaux d'irrigation. Annexes.

Tome III et dernier. — Assainissements et desséchements. Colmatage. Polders, drainage, utilisation agricole des eaux d'égout. Annexes. Gr. in-16 de 563 pages avec 279 fig. et 2 pl..... 15 fr.

Assainissement et desséchements : Généralités. Législation des travaux d'assainissement et de desséchement. Travaux d'assainissement agricole. Généralités sur les travaux de desséchement. Travaux de desséchement par écoulement continu. Travaux de desséchement par écoulement discontinu. Travaux de desséchement par élévation mécanique.

Colmatages : Généralités. Polders : Généralités. Drainages : Généralités. Systèmes divers de drains. Projets de drainage. Exécution des travaux de drainage, drainages spéciaux. Législation du drainage. Utilisation agricole des eaux d'égout.

GÉNIE RURAL. Constructions rurales et machines agricoles, par J. Philbert, conducteur au service de l'assainissement de la Ville de Paris, suivi de l'**Art du géomètre rural,** par O. Roux, conducteur faisant fonctions d'ingénieur des ponts et chaussées. Ouvrage médaillé par la Société nationale d'agriculture de France. Gr. in-16 de 422 pages avec 331 fig..... 10 fr.

Constructions rurales : Habitations. Logements des animaux. Logements des récoltes et des produits. Annexes de la ferme. Dispositions générales des fermes. Machines agricoles : Machines pour la préparation du sol. Machines pour les travaux de récolte. Appareils de transport. Machines pour l'égrenage et le nettoyage des grains. Moteurs utilisés en agriculture. Préparation des grains en vue de la consommation. Préparation des fourrages. Préparation des racines et des tubercules. Appareils de laiteries, beurreries et fromageries. Machines employées pour la fabrication du vin et du cidre. Machines pour la préparation des engrais et instruments de pesage. Art du géomètre rural : Généralités. Formulaires.

ÉLECTRICITÉ, par E. Dacremont, conducteur des ponts et chaussées, chef de section au service technique municipal de la Ville de Paris. Ouvrage médaillé par la Société d'encouragement pour l'industrie nationale.

Première partie. Théorie et production. Gr. in-16 de 500 pages avec 276 fig..... 12 fr.

Notions préliminaires. Etude générale des phénomènes électriques : *Condenseurs, énergie du courant électrique.* Piles thermo-électriques. Piles hydro-électriques. Magnétisme : *Electro-magnétisme, induction électro-magnétique.* Courants alternatifs. Machines dynamo-électriques à courants alternatifs ou alternateurs. Machines dynamo-électriques à courant continu. Transformateurs. Accumulateurs. Méthodes et appareils de mesures électriques.